

PCT/JP 2004/008638

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

21. 6. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2004年 1月26日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2004-016832  
[ST. 10/C]: [JP 2004-016832]

出 願 人  
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

RECEIVED	
12 AUG 2004	
WIPO	PCT

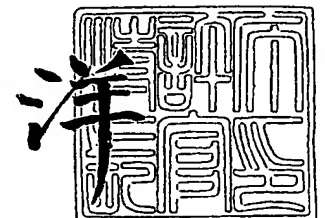
BEST AVAILABLE COPY

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 7月30日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特2004-3067643

【書類名】 特許願  
【整理番号】 NTTH156780  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G09G 5/36  
G09G 5/38  
H04N 13/04  
G06F 3/14

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内  
【氏名】 國田 豊

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内  
【氏名】 陶山 史朗

【特許出願人】  
【識別番号】 000004226  
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100083552  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 秋田 収喜

【選任した代理人】  
【識別番号】 100103746  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 近野 恵一  
【電話番号】 03-3893-6221

【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 014579  
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

合焦距離を変えて被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像に写っている被写体を見る視点（以下、仮想視点という）を設定するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の 3 次元形状を取得するステップと、前記取得した被写体の 3 次元形状に基づいて、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップとを有する画像生成方法であって、

前記被写体の 3 次元形状を取得するステップは、仮想的な 3 次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の 3 次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点（以下、投影点という）と対応する前記取得した各画像上の点（以下、対応点という）の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度に基づいて、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体の表面が存在する確率（以下、存在確率という）を決定するステップとを有し、

前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点から見て重なり合う投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定することを特徴とする画像生成方法。

**【請求項 2】**

前記被写体の 3 次元形状を取得するステップ、または前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記基準視点または前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の存在確率に基づいて、前記各投影点上に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定するステップを有し、

前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に基づいて設定した前記透明度に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定することを特徴とする請求項 1 に記載の画像生成方法。

**【請求項 3】**

前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点から見て遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に色情報または輝度情報を混合し、

ある投影点までの色情報または輝度情報は、その投影点における色情報または輝度情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報または輝度情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得ることを特徴とする請求項 2 に記載の画像生成方法。

**【請求項 4】**

合焦距離を変えて被写体を撮影した複数枚の画像を取得する被写体画像取得手段と、前記複数枚の画像に写っている被写体を見る視点（以下、仮想視点という）を設定する仮想視点設定手段と、前記複数枚の画像から前記被写体の 3 次元形状を取得する 3 次元形状取得手段と、前記取得した被写体の 3 次元形状に基づいて、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するレンダリング手段とを備える画像生成装置であって、

前記 3 次元形状取得手段は、仮想的な 3 次元空間上に多層構造の投影面を設定する手段と、前記被写体の 3 次元形状を取得するための基準視点を決定する手段と、前記投影面上の点（以下、投影点という）と対応する前記取得した各画像上の点（以下、対応点という）の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定する手段と、前記投影点と対応する対応点の合焦点度から前記投影点の合焦点度を決定する手段と、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度に基づいて、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体の表面が存在する確率（以下、存在確率という）を決定する手段とを備え、

前記レンダリング手段は、前記仮想視点から見て重なり合う投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定する手段を備えることを特徴とする画像生成装置。

**【請求項 5】**

前記 3 次元形状取得手段、または前記レンダリング手段は、前記基準視点または前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の存在確率に基づいて、前記各投影点上に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定する手段を備え、

前記レンダリング手段は、前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に基づいて設定した前記透明度に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定する手段を備えることを特徴とする請求項 4 に記載の画像生成装置。

**【請求項 6】**

前記レンダリング手段は、前記仮想視点から見て遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に色情報または輝度情報を混合し、ある投影点までの色情報または輝度情報は、その投影点における色情報または輝度情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報または輝度情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得る手段を備えることを特徴とする請求項 5 に記載の画像生成装置。

**【請求項 7】**

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載の画像生成方法の各ステップを、コンピュータに実行させるための画像生成プログラム。

**【請求項 8】**

請求項 7 に記載の画像生成プログラムが、コンピュータで読み取り可能な状態で記録された記録媒体。

【書類名】明細書

【発明の名称】画像生成方法、画像生成装置、画像生成プログラム、及び記録媒体

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像生成方法、画像生成装置、画像生成プログラム、及び記録媒体に関し、特に、複数枚の画像から物体の3次元的な形状を測定して画像を生成する方法に適用して有効な技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、異なる条件で被写体を撮影した複数枚の画像を用いて、前記被写体を仮想的な視点から見た画像（以下、仮想視点画像という）を生成する方法がある。前記複数枚の画像を用いて前記仮想視点画像を生成するときには、まず、前記複数枚の画像をもとにして前記被写体の幾何学的なモデルを得る。このとき、得られた前記被写体の幾何学的なモデルは、例えば、ポリゴンやボクセルと呼ばれる基本図形の集まりとして表現される。

【0003】

前記複数枚の画像をもとにして前記被写体の幾何学的なモデルを得る方法は様々であり、コンピュータ・ビジョンの分野において、Shape from X として数多くの研究がなされている。前記 Shape from X において代表的なモデル取得方法は、ステレオ法である（例えば、非特許文献1を参照。）。

【0004】

前記ステレオ法では、異なる視点から被写体を撮影した複数枚の画像をもとにして、前記被写体の幾何学的なモデルを得る。このとき、モデルを取得するための基準視点から前記被写体上の各点までの距離は、例えば、対応点マッチング、すなわち各画像上の点（画素）の対応付けを行い、三角測量の原理で求める。ただしこのとき、前記ステレオ法で即座に前記被写体の幾何学的なモデルが得られるわけではなく、得られるのは被写体表面の点群である。そのため、前記被写体の幾何学的なモデルを得るには、前記点群に含まれる各点同士がどのように繋がり、どのような面を構成するかという構造情報を決定する必要がある（例えば、非特許文献2を参照。）。

【0005】

つまり、前記ステレオ法を用いて前記被写体の幾何学的なモデルを得る仮想視点画像の生成方法では、前記仮想視点画像を生成する装置（計算機）で、前記被写体の形状の当てはめや統計処理等の複雑な処理を行わなければならない。そのため、前記仮想視点画像を生成する装置（計算機）には高い処理性能（計算機パワー）が必要となる。

【0006】

また、複数枚の画像をもとにして前記被写体の幾何学的なモデルを得る方法には、前記ステレオ法とならぶ代表的なモデル取得方法として、複数の視点で撮影した各画像の被写体の輪郭をもとにして、空間中で前記被写体が占める領域を決める Shape from Silhouette と呼ばれる方法（以下、Shape from Silhouette 法という）がある（例えば、非特許文献3を参照。）。

【0007】

前記 Shape from Silhouette 法で得られる前記被写体の幾何学的なモデルは、ボクセルと呼ばれる微小な立方体の集まりとして表現されることが多い。しかしながら、前記被写体の幾何学的なモデルを前記ボクセルで表現する場合、前記被写体の3次元形状を表現するために必要なデータ量が膨大な量になる。そのため、前記 Shape from Silhouette 法を用いて前記被写体の幾何学的なモデルを得る前記仮想視点画像の生成方法では、短時間で前記仮想視点画像を生成するには、前記仮想視点画像を生成する装置に高い処理性能（計算機パワー）が要求される。

【0008】

このように、前記ステレオ法や前記 Shape from Silhouette 法を用いて前記被写体の3次元形状を推定し、ポリゴンやボクセル等で前記被写体の幾何学的なモデルを表現して

、前記仮想視点画像を生成する方法では、前記仮想視点画像を生成する装置に高い処理性能が要求される。

【0009】

そこで近年、前記ステレオ法や前記 Shape from Silhouette 法のように前記被写体の幾何学的なモデルをポリゴンやボクセル等で表現する代わりに、例えば、前記被写体の部分的な画像を多層構造の投影面にテクスチャマッピングし、前記被写体の3次元的な形状を多層平面で表現する方法が提案されている（例えば、非特許文献4、非特許文献5を参照。）。

【0010】

前記テクスチャマッピングは、多層構造の投影面を設定し、前記撮影した画像から切り取った部分的な画像（テクスチャ画像）を、そのテクスチャ画像に写っている物体の距離に対応する投影面に貼り合わせて、立体的な視覚効果を得る方法である。そのため、一般に普及しているパーソナル・コンピュータに搭載されているグラフィックス・ハードウェアでも、十分に高速な処理を行うことができるとともに、データの扱いが容易であるという利点がある。

【0011】

しかしその一方、前記テクスチャマッピングによる多層平面で前記被写体の幾何学的なモデルを表現する場合、前記投影面の設定間隔が広すぎると、前記被写体の精細を表現することができない。そのため、大まかな形状は投影面（平面）で表現し、微細な形状については、前記テクスチャ画像の画素毎に、例えば、R（赤）、G（緑）、B（青）の色情報に加えて、もう1つの値（デプス値）を持たせるような工夫がなされている。前記非特許文献4では、各テクスチャ画像の画素の位置を前記デプス値に応じて変化させて、前記多層平面だけでは表現しきれない微細な奥行きを表現する方法が提案されている。また、前記非特許文献5では、前記デプス値に応じて、各画素の透明度を設定して、前記多層平面だけでは表現しきれない微細な奥行きを表現する方法が提案されている。

【非特許文献1】Takeo Kanade et al.: "Virtualized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scenes," IEEE MultiMedia, Vol.4, No.1, pp.34-37, 1997.

【非特許文献2】池内克史: "画像による実物体のモデル作成", 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.6, pp.763-766, 1998.

【非特許文献3】Potmesil, M.: "Generating Octree Models of 3D Objects from their Silhouettes in a Sequence of Images," CVGIP 40, pp.1-29, 1987.

【非特許文献4】Jonathan Shade et al.: "Layered Depth Images," SIGGRAPH98 Conference Proceedings, pp.231-242, 1998.

【非特許文献5】多湖, 新田, 苗村, 原島: "動的レイヤ表現を用いたVideo-Based Rendering", 3次元画像コンファレンス2001, pp.33-36, 2001.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

しかしながら、前記仮想視点画像の生成等に用いる被写体の幾何学的なモデルを得る方法のうち、前記ステレオ法を用いて前記被写体の幾何学的なモデルを得る方法では、前記被写体の形状や表面の模様（テクスチャ）、前記被写体周辺の環境の影響を受けやすく、どのような形状の被写体でも、そして前記被写体上のどの点でも信頼性の高い距離情報を得られるとは限らない（例えば、奥富正敏: "ステレオがなぜ難しいか", 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.6, pp.39-43, 1998. を参照。）。

【0013】

前記被写体の距離を推定するときに、その推定の信頼性が低いと、誤った距離を推定してしまうことがある。距離の推定を誤った場合、前記被写体の幾何学的なモデルを用いて生成した仮想視点画像は、例えば、前記距離の推定を誤った箇所に不連続なノイズが現れる。そのため、前記仮想視点画像は、例えば、被写体の一部が欠けたような画像になってしまうという問題がある。

## 【0014】

また、前記 Shape from Silhouette 法は、原理的に、前記被写体が凸形状であることを仮定して前記被写体の幾何学的なモデルを得る方法である。そのため、前記被写体が全体的あるいは部分的に凹形状であると、前記被写体の正しいモデルを取得することができないという問題がある。

## 【0015】

また、前記 Shape from Silhouette 法は、画像上の背景と前記被写体の輪郭を正確に抽出すること自体が難しく、正確に抽出する方法については、現在でもコンピュータ・ビジョン分野における主要な研究課題となっている。つまり、前記 Shape from Silhouette 法で得られる前記被写体の幾何学的なモデルは、不正確な輪郭から得られるモデルであり、その信頼性は十分に高いとはいえない。そのため、前記 Shape from Silhouette 法で得られた前記被写体の幾何学的なモデルから生成される仮想視点画像は、十分に満足できる画質ではないという問題がある。

## 【0016】

また、前記テクスチャマッピングのように前記被写体の 3 次元的な形状を多層平面で表現する方法は、各テクスチャ画素に与える前記デプス値が既知である、すなわち前記被写体の形状が正確に求められていることを前提にしている。そのため、前記物体の形状が既知でない場合は、まず、前記被写体の幾何学的なモデルを取得しなければならない。その結果、前記被写体の形状を推定したときに信頼性が低い箇所があると、前記テクスチャ画像を誤った投影面に貼り付けてしまうことがあり、生成した仮想視点画像が著しく劣化することがあるという問題がある。

## 【0017】

また、前記テクスチャマッピングにより前記被写体の 3 次元的な形状を表現して前記仮想視点画像を生成する方法では、前記多層構造の投影面に画像を貼り付ける処理は高速であるが、前記デプス値を求める処理において前記被写体の形状を正確に求めようとすると、前記仮想視点画像を生成する装置には高い処理能力が必要になる。

## 【0018】

以上説明したように、従来の仮想視点画像の生成方法では、前記被写体の形状を推定するときに、その推定の信頼性が低い箇所があると、距離の推定を誤りやすく、生成した前記仮想視点画像上に不連続なノイズが生じて画質が低下しやすいという問題があった。

## 【0019】

また、前記被写体の形状の推定の誤りによる前記仮想視点画像の画質の低下を防ぐためには、推定の信頼性が高くなるようにすればよいが、そのためには、多数の画像を用い、厳密な計算処理を行って、前記被写体の正確な幾何学的なモデルを得なければならない。しかしながら、その場合、前記仮想視点画像を生成する装置に高い処理性能（計算機パワー）が必要である。そのため、一般に普及しているパーソナル・コンピュータ等では、画質の劣化が少ない仮想視点画像を高速で生成することが難しいという問題もあった。

## 【0020】

また、多数の視点から撮影した画像を用いて前記仮想視点画像を生成する場合、前記被写体の幾何学的なモデルの信頼性を高くするためには、より多くの視点から撮影した画像が必要になる。そのため、前記画像を撮影するための撮影装置が大型化し、装置構成が複雑化するという問題もあった。

## 【0021】

本発明の目的は、複数枚の画像から被写体の 3 次元的な形状を取得して仮想視点画像を生成するときに、被写体の形状の推定の信頼性が低い部分で生じる著しい画質の劣化を低減することが可能な技術を提供することにある。

## 【0022】

本発明の他の目的は、複数枚の画像から被写体の 3 次元的な形状を取得して仮想視点画像を生成するときに、処理性能が低い装置でも、部分的な画質の劣化が少なく、かつ、短時間で前記仮想視点画像を生成することが可能な技術を提供することにある。

## 【0023】

本発明の他の目的は、被写体の幾何学的なモデルを得るために用いる画像を撮影する撮影装置の小型化し、装置構成を簡素化が可能な技術を提供することにある。

## 【0024】

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかになるであろう。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0025】

本発明の画像生成方法は、合焦距離を変えて被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像に写っている被写体を見る視点（以下、仮想視点という）を設定するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の3次元形状を取得するステップと、前記取得した被写体の3次元形状に基づいて、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップとを有する画像生成方法であって、前記被写体の3次元形状を取得するステップは、仮想的な3次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の3次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点（以下、投影点という）と対応する前記取得した各画像上の点（以下、対応点という）の色情報または輝度情報から、前記投影点の色情報または輝度情報を決定するステップと、前記投影点と対応する対応点の合焦点度を算出し、前記投影点の合焦点度を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度に基づいて、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体の表面が存在する確率（以下、存在確率という）を決定するステップとを有し、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点から見て重なり合う投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定する画像生成方法である。

## 【0026】

また、前記被写体の3次元形状を取得するステップ、または前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記基準視点または前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の存在確率に基づいて、前記各投影点上に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定するステップを有し、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の色情報または輝度情報を、前記存在確率に基づいて設定した前記透明度に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報または輝度情報を決定する。またこのとき、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点から見て遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に色情報または輝度情報を混合し、ある投影点までの色情報または輝度情報は、その投影点における色情報または輝度情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報または輝度情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得る。

## 【発明の効果】

## 【0027】

本発明の画像生成方法は、前記被写体の3次元形状を得るための基準視点から見て重なり合う複数の投影点に色情報または輝度情報と前記被写体の表面が存在する確率（存在確率）を与える。すなわち、従来の3次元形状を得る方法のように、前記被写体の表面を、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点の中の1つの投影点上に存在すると考えるのではなく、前記被写体の表面は、前記各投影点上に前記存在確率で存在すると考える。このようにすると、距離の推定の信頼性が低い場合でも、実際に物体の表面が存在する投影点上に、ある確率で物体の表面が存在する。このとき、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成すると、生成した画像上の点（画素）で、前記存在確率が低い投影点の色情報を混合した色情報または輝度情報を持つ画素、すなわち距離の推定の信頼性が低い被写体上の点は曖昧に描画される。その結果、距離の推定を誤ったときに生じるような不連続なノイズを目立ちにくくすることができる。

## 【0028】

また、本発明の画像生成方法は、前記被写体の 3 次元的な形状を得るために、合焦点度が異なる複数枚の画像を用いる。このとき、前記基準視点から見て重なり合う各投影点の存在確率は、前記各投影点と対応する前記各画像上の点（対応点）の合焦点度に基づいて決定する。そのため、物体の形状や、前記基準視点と前記仮想視点の位置関係によっては、前記仮想視点から見て重なり合う複数の投影点の中に、存在確率が非常に高い投影点が 2 点以上含まれることがある。そのような場合、例えば、前記各投影点の色情報または輝度情報を前記存在確率に応じた割合で混合すると、生成する画像上の点の色情報が有効な色空間の範囲を超えてしまうことがある。そのため、前記存在確率に基づいて前記投影点に透明度を設定し、前記透明度に応じた割合で色情報を混合処理してもよい。このようにすると、前記仮想視点から見て重なり合う投影点の中に、存在確率が高い投影点が 2 点以上ある場合、前記仮想視点から見て遠くある投影点、例えば、前記仮想視点からは見えない投影点の色情報の、生成画像上の点の色情報への寄与を小さくすることができる。

#### 【0029】

また、本発明の画像生成方法は、従来の生成方法のようにあらゆる形状の被写体、そして前記被写体上のあらゆる点で幾何学的なモデルを正確に求めるような処理は行わない。そのため、前記画像を生成する装置（計算機）にかかる負荷を低減することができる。前記画像を生成する装置にかかる負荷を低減できれば、一般に普及しているパーソナル・コンピュータのように、処理性能が低い装置でも、高速で画像を生成することが可能になる。

#### 【0030】

また、前記被写体の 3 次元的な形状を取得するときに、1 つの視点から合焦距離を変えて撮影した画像を用いる場合、前記画像の撮影に用いる撮影装置は、従来のような多視点から撮影する装置に比べて小型化でき、装置構成も簡素化することができる。このとき、例えば、光学的な異方性を示し、偏光面に応じて合焦距離が異なる材質を備える偏光型二値光学系を用いて前記被写体を撮影すれば、1 つの視点から合焦距離が異なる 2 枚の画像を撮影することができる。また、例えば、合焦距離が異なるレンズを複数個用意して、前記各レンズを高速で切り替えながら撮影すれば、1 つの視点から合焦距離の異なる 3 枚以上の画像を撮影することができる。

#### 【0031】

以下、本発明について、図面を参照して実施の形態（実施例）とともに詳細に説明する。

なお、実施例を説明するための全図において、同一機能を有するものは、同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0032】

本発明の画像生成方法は、1 つの視点から合焦距離を変えて撮影した複数枚の画像（多焦点画像）をもとにして前記画像に写っている被写体の 3 次元的な形状を取得し、任意の視点（仮想視点）から見た前記被写体の画像を生成する方法である。前記被写体の 3 次元的な形状は、テクスチャマッピングの手法を用いた多層平面で表現する。

#### 【0033】

図 1 乃至図 9 は、本発明の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、図 1 及び図 2 は投影面及び基準視点の設定例を示す図、図 3 は投影点の色情報及び合焦点度の決定方法を説明する図、図 4 乃至図 6 は投影点の存在確率の決定方法を説明する図、図 7 は仮想視点から見た画像の生成方法を説明する図、図 8 は本発明の画像生成方法において問題となる点を説明する図、図 9 は本発明の画像生成方法において問題となる点を解決する方法を説明する図である。

#### 【0034】

本発明の画像生成方法では、前述のように、1 つの視点から合焦距離を変えて撮影した複数枚の画像（多焦点画像）をもとにして前記画像に写っている被写体の 3 次元的な形状を取得し、任意の視点（仮想視点）から見た前記被写体の画像を生成する。そしてこのと

き、前記被写体の 3 次元的な形状は、テクスチャマッピングの手法を用いた多層平面で表現する。

#### 【0035】

前記テクスチャマッピングの手法を用いて前記被写体の 3 次元的な形状を表現するときには、例えば、コンピュータ等の画像生成装置内に設定した仮想的な 3 次元空間上に、図 1 に示すように、カメラの視点 C、多層構造の投影面  $L_i$  ( $i=1, 2, \dots, M$ )、前記被写体の 3 次元的な形状を取得するための基準視点 R を設定する。またこのとき、N 枚の合焦距離が異なる画像から前記被写体の形状を取得するとすれば、前記投影面  $L_i$  は、図 2 に示すように、前記各画像  $Img_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) の合焦距離  $f_i$  と一致するような距離に設定する。

#### 【0036】

ここで、図 2 に示したように、前記基準視点 R からある方向を見たときに重なり合う投影点  $T_j$  ( $j=1, 2, \dots, N$ ) について考えると、従来のモデル取得方法では、前記被写体の表面は、前記投影点  $T_j$  のいずれか 1 点に存在すると考える。このとき、前記被写体の表面が前記投影点  $T_j$  のうちのどの投影点に存在するかは、例えば、前記各投影点  $T_j$  の合焦点度の高さによって決定する。そこで、まず、前記基準視点 R から見て重なり合う各投影点  $T_j$  の色情報  $K_j$  及び合焦点度  $Q_j$  を決定する。

#### 【0037】

前記投影点  $T_j$  の色情報  $K_j$  及び合焦点度  $Q_j$  を決定するときには、図 3 に示すように、前記投影点  $T_j$  と対応する前記各画像  $Img_i$  上の点 (対応点)  $G_i$  の色情報  $\kappa_i$  及び前記対応点  $G_i$  で焦点の合っている度合い (合焦点度) に基づいて決定する。このとき、前記投影点  $T_j$  の色情報  $K_j$  は、例えば、前記各対応点  $G_i$  の色情報  $\kappa_i$  の平均値、あるいは空間的に一致する対応点  $G_{i-j}$  の色情報  $\kappa_{i-j}$  とする。また、前記投影点  $T_j$  の合焦点度は、画像上の点または微小領域での画像のシャープさやボケの程度により決められる。前記合焦点度の算出方法には、Depth from Focus 理論もしくは Depth from Defocus 理論に基づき、様々な方法がある (例えば、参考文献 1, 2, 3, 4 を参照。)。このとき、前記合焦点度  $Q_j$  は、例えば、前記各対応点  $G_i$  の局所空間周波数の大きさを比較することで求められる。

#### 【0038】

前記 Depth from Focus 理論もしくは Depth from Defocus 理論は、合焦距離の異なる複数枚の画像を解析し、前記物体の表面形状を計測する方法である。このとき、例えば、前記合焦距離を変えて撮影した画像のうち、最も局所空間周波数が高い画像の合焦距離に相当する距離に前記物体の表面があると推定できる。そこで、前記投影点  $T_j$  の合焦点度  $Q_j$  は、例えば、下記数式 1 で表されるような局所空間周波数の評価関数を用いて算出する。

#### 【0039】

##### 【数 1】

【数 1】

$$Q = \frac{1}{D} \sum_{x=x_i}^{x_l} \sum_{y=y_i}^{y_l} \left\{ \sum_{p=-l_c}^{l_c} \sum_{q=-l_r}^{l_r} |f(x, y) - f(x+p, y+q)| \right\}$$

#### 【0040】

ここで、 $f$  は画素の濃淡値、 $D$  は正規化のための定数で評価を行う全ての画素数、 $(-l_c, -l_r) - (l_c, l_r)$  及び  $(x_i, y_i) - (x_f, y_f)$  はそれぞれ分散評価と平滑化を行うための小領域である。

#### 【0041】

そして、このような処理を、前記基準視点 R から見て重なり合う全ての投影点  $T_j$  に対して行い、図 4 に示すように、前記各投影点  $T_j$  の色情報及び合焦点度  $Q_j$  を決定したら、

前記各投影点  $T_j$  の合焦点度  $Q_j$  の高さに基づいて、前記被写体の表面が存在する距離を推定する。このとき、前記基準視点  $R$  から見て重なり合う各投影点  $T_j$  の合焦点度  $Q_j$  が、例えば、図 5 (a) に示すように、ある投影点  $T_n$  の合焦点度  $Q_n$  のみが非常に高い値を示している場合は、その投影点  $T_n$  上に前記被写体の表面が存在すると推定でき、その信頼性も非常に高い。

#### 【0042】

ところが、取得した画像の撮影条件や、前記被写体の形状、あるいは前記被写体の表面の模様（テクスチャ）によっては、例えば、図 5 (b) に示すように、合焦点度  $Q$  が特徴的な大きな値をとる投影点  $T$  がない場合もある。図 5 (b) に示した例では、例えば、投影点  $T_n$ 、 $T_n^*$  の合焦点度  $Q$  が、他の投影点  $T$  の合焦点度  $Q$  よりも若干高い値なので、前記投影点  $T_n$ 、 $T_n^*$  のどちらかに前記被写体の表面が存在すると考えられる。しかしながら、どちらの投影点  $T_n$ 、 $T_n^*$  の合焦点度  $Q$  も、特徴的な大きな値ではないので、どちらかの投影点を選択した場合、その信頼性は低い。また、場合によっては、誤った投影点を選択してしまうこともある。そして、前記被写体の表面が存在する投影点の推定（選択）を誤れば、生成した画像上に大きなノイズとなって現れる。

#### 【0043】

このような場合、前記被写体の表面の距離、すなわちどの投影面上に存在するかを推定したときの信頼性を上げるには、例えば、合焦距離の間隔を細かくして、より多くの画像を用いたり、ピーク位置だけでなくその前後の合焦点度の値を、例えば、正規分布関数等の既知の関数に当てはめたりして前記被写体表面の距離を推定する工夫が必要となる。

#### 【0044】

しかしながら、より多くの画像を用いれば、処理時間が長くなる、撮影手段における合焦距離の調節が難しくなるといった問題がある。また、ある合焦距離にピントを合わせた場合、その前後に被写界深度と呼ばれる範囲があり、前記被写界深度の範囲内にある点であれば、前記合焦距離上になくても、撮影した画像上でのボケは実質的に生じない。そのため、前記合焦距離を細かく区切って効果が得られるのは前記被写界深度程度の間隔まででそれ以上細かくしても効果は薄い。さらに、前記被写体表面のテクスチャの空間周波数が低い、すなわち模様の変化が少なく一様である場合、合焦距離を変えても画像上での変化は生じにくい。このような場合は、原理的に、信頼性の高い推定を行うことが困難である。

#### 【0045】

このようなことから、一般的には、前記合焦点度  $Q$  の分布が、図 5 (b) に示したような場合でも、前記合焦点度  $Q$  が最大値の投影点  $T_j$  に前記被写体の表面が存在するとしている。そのため、前記被写体の表面の距離の推定を誤り、生成した画像に大きなノイズが現れることが多かった。

#### 【0046】

そこで、本発明の画像生成方法では、前記被写体表面の距離をある 1 点、すなわち前記基準視点  $R$  から見て重なり合う投影点  $T_j$  のいずれか 1 点に特定せずに、図 6 に示すように、前記各投影点  $T_j$  の合焦点度  $Q_j$  の高さに応じた存在確率  $\beta_j$  を与える。このとき、前記存在確率  $\beta_j$  は、前記基準視点  $R$  から見て重なり合うすべての投影点  $T_j$  の存在確率  $\beta_j$  の集合において、下記数式 2 及び数式 3 の条件を満たす必要がある。

#### 【0047】

##### 【数 2】

【数 2】

$$0 \leq \beta_j \leq 1$$

#### 【0048】

【数 3】

【数 3】

$$\sum_{j=1}^M \beta_j = 1$$

【0049】

そこで、投影面  $L_j$  が  $M$  枚あり、前記基準視点  $R$  から見て重なり合う投影点  $T_j$  が  $M$  個あるとすれば、 $k$  番目の投影面  $L_k$  上の投影点  $T_k$  の存在確率  $\beta_k$  は、下記数式 4 から求める。

【0050】

【数 4】

【数 4】

$$\beta_k = \frac{Q_k}{\sum_{j=1}^M Q_j}$$

【0051】

このようにして、前記基準視点  $R$  から見て重なり合う投影点  $T_j$  について、前記各投影点  $T_j$  に存在確率  $\beta_j$  を決定するという処理を、あらゆる方向に対して行うことで、前記被写体の 3 次元的な形状を得ることができる。そして、前記仮想視点  $P$  から見た前記被写体の画像を生成するときには、例えば、図 7 に示すように、前記投影面  $L_j$  が設定された空間上に前記仮想視点  $P$  を設定して、生成する画像上の各点の色情報を決定する。このとき、前記生成する画像上の点  $A$  の色情報  $K_A$  は、前記仮想視点  $P$  から見て前記点  $A$  と重なり合う投影点  $T_j$  の色情報  $K_j$  及び存在確率  $\beta_j$  から、例えば、下記数式 5 を用いて決定する。

【0052】

【数 5】

【数 5】

$$K_A = \sum_{j=1}^M \beta_j K_j$$

【0053】

そして、前記数式 5 を用いて、前記生成する画像上の全ての点の色情報を決定すると、前記仮想視点  $P$  から見た前記被写体の画像（仮想視点画像）が得られる。このとき、生成された前記仮想視点画像上で、例えば、図 5 (a) に示したように、ある投影点  $T_n$  の合焦点度  $Q_n$  だけが特徴的な大きな値を持つような場合は、その投影点  $T_n$  の存在確率  $\beta_n$  だけが大きくなる。そのため、前記数式 5 を用いて色情報を混合処理するときに、前記投影点  $T_n$  の色情報  $K_n$  の、前記生成画像上の点  $A$  の色情報  $K_A$  への寄与率が高くなり、明瞭に描画される。また、図 5 (b) に示したように、前記被写体の表面の距離の推定が難しい場合は、各投影点  $T$  の存在確率  $\beta$  が小さな値になるので、前記生成画像上の点  $A$  の色情報  $K_A$  への寄与率は低くなり、曖昧に描画される。その結果、距離の推定を誤ったときに生じるような不連続で大きなノイズを低減することができ、観察者の見ために、より良好な画像を生成することができる。

【0054】

また、本発明の画像生成方法は、コンピュータ・グラフィックスの基本的な手法である

テクスチャマッピングによりシンプルに実装できる。そのため、普及型のパーソナル・コンピュータに搭載している 3 次元グラフィックス・ハードウェアで良好に処理できるほど、計算機負荷が軽くなる。

【0055】

ただし、本発明の画像生成方法は、前記基準視点のようにある視点から見て重なり合う各投影点  $T_j$  について合焦点度  $Q_j$  を算出し、前記存在確率  $\beta_j$  を決定している。そのため、被写体の形状や、前記基準視点と前記仮想視点の位置関係によっては、前記仮想視点  $P$  から見て重なり合う複数の投影点の中に、存在確率が非常に高い投影点が 2 点以上含まれることがある。そのような場合、前記各投影点の色情報を前記存在確率に応じた割合で混合すると、生成する画像上の点の色情報が有効な色情報の範囲を超えてしまうことがある。

【0056】

ここで、例えば、図 8 に示すように、被写体  $O b_j$  がある空間に、2 枚の投影面  $L_1$ ,  $L_2$ 、基準視点  $R$ 、仮想視点  $P$  を設定した場合について考えてみる。このとき、投影点  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T'_1$ ,  $T'_2$  における色情報がそれぞれ  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K'_1$ ,  $K'_2$ 、被写体の存在確率が  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta'_1$ ,  $\beta'_2$  であるとする。

【0057】

また、前記被写体の存在確率  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta'_1$ ,  $\beta'_2$  は、基準視点  $R$  を通る直線上で決定したとすると、図 8 に示した例では、投影点  $T'_1$  及び  $T_2$  付近に被写体  $O b_j$  の表面が存在するため、この投影点  $T'_1$  及び  $T_2$  での存在確率は、投影点  $T_1$  及び  $T'_2$  に比べて高くなる。このとき、前記各投影点  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T'_1$ ,  $T'_2$  の存在確率  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta'_1$ ,  $\beta'_2$  は、下記数式 6 及び数式 7 のようになる。

【0058】

【数 6】

【数 6】

$$\beta_1 \cong 0, \quad \beta_2 \cong 1$$

【0059】

【数 7】

【数 7】

$$\beta'_1 \cong 1, \quad \beta'_2 \cong 0$$

【0060】

このとき、前記仮想視点  $P$  の画像面上の点  $A$  における色情報  $K_A$  は、前記数式 5 から、前記仮想視点  $P$  から見て前記画像面上の点  $A$  と重なる投影点  $T'_1$ ,  $T_2$  の色情報  $K'_1$ ,  $K_2$  を、前記存在確率  $\beta'_1$ ,  $\beta_2$  に応じた重み付けで加算することで求め、下記数式 8 のようになる。

【0061】

【数 8】

【数 8】

$$K_A = \beta'_1 K'_1 + \beta_2 K_2$$

【0062】

また、前記数式 8 は、前記数式 6 及び数式 7 により、下記数式 9 のように近似できる。

【0063】

【数 9】

【数 9】

$$K_A \doteq K'_1 + K_2$$

【0064】

しかしながら、前記仮想視点 P から前記物体 Obj を見たときには、投影点 T'<sub>1</sub> 上の物体表面は、投影点 T<sub>2</sub> 上の物体表面より遮蔽されているので、画像面上の点 A における本来の色情報は  $K_A = K_2$  である。つまり、生成された画像上の点 A の色情報  $K_A$  は、前記数式 9 のように、本来の色情報よりも  $K'_1$  の分だけ (R, G, B) の各成分の輝度が上がってしまう。

【0065】

またこのとき、前記投影点 T'<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> の色情報  $K'_1$ ,  $K_2$  の各成分が大きな輝度を持つ場合、点 A の色情報  $K_A$  は有効な色空間の範囲を超えてしまう。そのため、有効な色空間の範囲内に収まるようにするクリッピング処理が必要となる。

【0066】

そこで、本発明の画像生成方法では、前記投影点の存在確率に基づいて、各投影点に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定する。このとき、前記生成する画像における各点の色情報を得るための混合処理は、前記生成する画像の視点から遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に処理し、ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを前記透明度に応じた比率で内分して得る。またこのとき、前記混合処理により得られる色情報は、ある段階での色情報とその次の色情報の内分である。

【0067】

前記色情報の混合処理の原理を説明するために、例えば、色空間 V に、図 9 (a) に示すように、投影面  $L_j$  ( $j=1, 2, \dots, M$ )、投影点  $T_j$ 、赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の成分を持ち投影点  $T_j$  の色情報を表すベクトル  $K_j$  が設定されている場合を考える。このとき、前記色空間 V は、下記数式 10 で表されたとする。

【0068】

【数 10】

【数 10】

$$K_j \in V, V = \{(R, G, B) | 0 \leq R \leq 1, 0 \leq G \leq 1, 0 \leq B \leq 1\}$$

【0069】

また、前記投影点  $T_j$  の透明度  $\alpha_j$  は、下記数式 11 の条件を満たすように設定されているとする。

【0070】

【数 11】

【数 11】

$$0 \leq \alpha_j \leq 1$$

【0071】

このとき、変数  $j=m$  までの混合処理で得られる色情報  $D_m$  は、下記数式 12 及び数式 13 のような漸化式で表される。そして、前記仮想視点 P から見て一番手前の投影面  $L_m$ 、すなわち変数  $j=M$  まで混合したときの色情報  $D_M$  が、前記生成する画像の画像面上の点 A における色情報  $K_A$  となる。

【0072】

【数 1 2】

【数 1 2】

$$D_m = \alpha_m K_m + (1 - \alpha_m) D_{m-1}$$

【0073】

【数 1 3】

【数 1 3】

$$D_1 = \alpha_1 K_1$$

【0074】

またこのとき、前記数式 1 1 及び数式 1 2 の関係から、前記色情報  $D_m$  は、色空間  $V$  においてベクトル  $K_m$  と色情報  $D_{m-1}$  の内分点である。そのため、前記色情報  $D_m$  は、図 4 (b) に示すように、 $K_m \in V$ 、 $D_{m-1} \in V$  ならば  $D_m \in V$  となる。

【0075】

すると、前記数式 1 0 及び数式 1 1 の条件を満たせば、前記仮想視点  $P$  における色情報  $D_m$  について、下記数式 1 4 のようになることが保証される。

【0076】

【数 1 4】

【数 1 4】

$$D_m \in V$$

【0077】

前記数式 1 4 のような保証は、数学的帰納法により証明されるが、ここでは詳細な説明は省略する。

【0078】

つまり、前記投影点  $T_j$  の色情報  $K_j$  及び透明度  $\alpha_j$  を、前記数式 1 0 及び数式 1 1 を満たすように設定すれば、前記生成する画像の点  $A$  の色情報  $D_m$  は、必ず適切な色空間  $V$  に納めることができる。

【0079】

このように、透明度  $\alpha_j$  を用いた色情報の混合処理を行うと、同一の被写体において複数の仮想視点から見た画像を生成するときに、ある 1 つの視点（基準視点）から投影点の色情報及び透明度を計算したとしても、その色情報及び透明度が、前記数式 1 0 及び数式 1 1 の条件を満たせば、生成する全ての画像を、適切な色情報の範囲で生成することができる。

【0080】

そこで、例えば、図 8 に示した例で、前記各投影点  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T'_1$ 、 $T'_2$  のそれぞれに、下記数式 1 5 及び数式 1 6 で与えられるような透明度  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha'_1$ 、 $\alpha'_2$  を設定する。

【0081】

【数 1 5】

【数 1 5】

$$\alpha_2 = \beta_2, \quad \alpha_1 = 1$$

【0082】

【数 16】

【数 16】

$$\alpha'_2 = \beta'_2, \quad \alpha'_1 = 1$$

【0083】

ここで、前記仮想視点 P における各点の色情報を得るために、前記仮想視点 P から見て遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に混合処理をし、ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得るようにする。そうすると、仮想視点 P から見た画像の点 A の色情報  $D_A$  は、下記数式 17 のようになる。

【0084】

【数 17】

【数 17】

$$K_A = \alpha_2 K_2 + (1 - \alpha_2) \alpha'_1 K'_1$$

【0085】

このとき、前記数式 17 は、前記数式 6、数式 7、数式 15、数式 16 から下記数式 18 のようになり、本来の色情報のよい近似となる。

【0086】

【数 18】

【数 18】

$$K_A \doteq K_2$$

【0087】

以上で述べたとおり、前記存在確率  $\beta$  をそのまま用いた画像生成では、基準視点 R と生成する画像の視点 P が同一である場合には問題ないものの、両者が異なる場合に被写体の遮蔽領域付近で輝度の増加が生じることがあるのに対し、存在確率  $\beta$  を透明度  $\alpha$  に変換する画像生成では、この現象を防止する効果がある。

【0088】

また、前記存在確率  $\beta$  をそのまま用いる画像生成において基準視点 R と仮想視点 P が異なる場合には、複数の投影点の色情報を混合処理したときに、仮想視点 P から見た画像上の点の色情報が、有効な色空間の範囲内に収まる保証がない。そのため、例えば、補正処理が必要となる。それに対し、前記存在確率  $\beta$  を透明度  $\alpha$  に変換する画像生成では、このような補正は不要である。

【0089】

また、前記存在確率  $\beta$  を透明度  $\alpha$  に変換する画像生成では、半透過の被写体も効率的に表現することができ、現実世界にあるより多くの被写体に対して広く本発明を適用できる効果がある。

【0090】

次に、本発明の画像生成方法を用いて画像を生成するときに、処理の前提となる数理モデルの一例について説明する。

【0091】

図 10 及び図 11 は、本発明の画像生成方法の数理モデルを説明するための模式図であり、図 10 は投影点、対応点、生成する画像上の点の関係を示す図、図 11 は空間上の点と画像上の画素の変換方法を説明する図である。

【0092】

本発明の画像生成方法を用いて、前記仮想視点 P から見た画像を生成するときには、例

えば、透視投影変換により、前記仮想視点から見た画像上のある点の色情報または輝度情報を求める。ここで、カメラの視点C、投影面 $L_j$  ( $j=1, 2, \dots, M$ )、仮想視点Pが、例えば、図10に示すように設定されている場合を考える。

【0093】

一般的に、3次元空間上の投影点 $T_m$  ( $X, Y, Z$ )を前記仮想視点Pから見た画像、すなわち生成する画像上の点 $(x, y)$ へ射影する行列は、3行4列の行列で与えられる。このとき、前記射影行列は、下記数式19及び数式20のように表すことができる。

【0094】

【数19】

【数19】

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \Phi \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0095】

【数20】

【数20】

$$\Phi = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \end{bmatrix}$$

【0096】

このとき、例えば、原点を中心とした焦点距離 $f$ の透視投影変換を表す行列 $\Phi_0$ は、下記数式21となる。

【0097】

【数21】

【数21】

$$\Phi_0 = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

【0098】

また、コンピュータで扱う画像はいわゆるデジタル画像であり、メモリ上の2次元配列により表現されている。以下では、この配列の位置を示す座標系を $(u, v)$ をデジタル画像座標系と呼ぶことにする。

【0099】

このとき、例えば、640画素×480画素の大きさをもつデジタル画像上の1点は、0から639の整数値のいずれかをとる変数 $u$ と、0から479の整数値のいずれかをとる変数 $v$ により示され、カラー画像の場合、例えば、その点(画素)での色情報はそのアドレスでの赤(R)、緑(G)、青(B)情報を8ビットなどで量子化したデータで表される。

【0100】

またこのとき、図11に示すような画像座標 $(x, y)$ と、デジタル画像座標 $(u,$

v) は、1対1で対応付けされ、例えば、下記数式 22 のような関係を持つ。

【0101】

【数 22】

【数 22】

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & k_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0102】

ここで、図 11 に示した画像座標の x 軸とデジタル画像座標の u 軸は平行であるとする。また、図示は省略するが、u 軸と v 軸の単位長は (x, y) 座標系を基準に k<sub>u</sub>, k<sub>v</sub> とし、u 軸と v 軸のなす角度を θ とする。

【0103】

なお、2次元配列の書き込み及び読み取りをする際、前記デジタル画像座標 (u, v) は離散値をとるが、以下の説明では断りのない限り連続値をとることとし、配列へのアクセスの際に適当な離散化処理を行うものとする。

【0104】

また、この座標変換で前記数式 22 の関係に加え、レンズの収差による画像の歪みを補正した変換を行うことも可能である。

【実施例 1】

【0105】

図 12 乃至図 15 は、本発明による実施例 1 の画像生成方法を説明するための模式図であり、図 12 は画像の生成手順を示すフロー図、図 13 は投影点列の設定方法を説明する図、図 14 は図 12 のステップ 10305 の処理の具体例を示すフロー図、図 15 はレンダリングの方法を説明する図である。

【0106】

本実施例 1 の画像生成方法は、前述のような原理を用いて画像を生成する方法であり、図 12 に示すように、合焦距離が異なる複数枚の画像を取得するステップ 101 と、観察者の視点（仮想視点）を設定するステップ 102 と、前記取得した画像に基づいて被写体の 3 次元的な形状を取得するステップ 103 と、前記ステップ 103 で取得した被写体の 3 次元的な形状を前記仮想視点から見た画像を生成（レンダリング）するステップ 104 とを有する。

【0107】

また、前記ステップ 103 は、多層構造の投影面を設定するステップ 10301 と、被写体の 3 次元的な形状を取得するための基準視点を決定するステップ 10302 と、投影点列、対応点等を設定するステップ 10303 と、テクスチャ配列、すなわち前記投影点の色情報及び存在確率を格納する領域を確保するステップ 10304 と、前記投影点の色情報及び存在確率を決定するステップ 10305 とを有する。

【0108】

本実施例 1 の画像生成方法では、例えば、図 12 に示すように、まず、合焦距離を変えて被写体を撮影した複数枚の画像を取得する（ステップ 101）。このとき、取得する画像は、カラー画像であっても、白黒画像であってもよいが、本実施例 1 では、画像上の各点（画素）が赤（R）、緑（G）、青（B）の 3 原色を用いた色情報で表現されるカラー画像を取得するとして説明する。

【0109】

次に、観察者が前記被写体を見る位置（仮想視点）を設定する（ステップ 102）。次に、前記取得した被写体の画像を用いて、前記被写体の 3 次元的な形状を取得する（ステップ 103）。そして、前記被写体の 3 次元的な形状を取得したら、前記仮想視点から前

記被写体を見たときの画像を生成する（ステップ104）。

【0110】

このとき、前記ステップ103では、例えば、図12に示すように、まず、多層構造の投影面 $L_j$  ( $j \in J, J = \{1, 2, \dots, M\}$ ) を設定する（ステップ10301）。このとき、前記投影面 $L_j$ は、例えば、図1に示したように、平面形状を持つ投影面を平行に設置する。またこのとき、前記投影面の設置間隔は、例えば、図2に示したように、前記ステップ101で取得する各画像の合焦距離と一致させるのが好ましいが、一致していなくても構わない。

【0111】

次に、前記被写体の3次元形状を取得する視点、言い換えると、投影点上に被写体の表面が存在する確率を求めるときの基準とする点（基準視点） $R$ を決定する（ステップ10302）。このとき、前記基準視点 $R$ は、前記仮想視点 $P$ と同じ点であっても良いし、異なる点であっても良い。また、連続的に複数の仮想視点 $P$ から見た被写体の画像を生成するときには、その重心位置にとっても良い。

【0112】

次に、前記基準視点 $R$ を通る直線上の投影点の組でなる投影点列、前記投影点と対応する画像上の点（対応点）等を設定する（ステップ10303）。このとき、前記投影点列は、例えば、図13に示すように、前記基準視点 $R$ を通る直線と前記投影面 $L_j$ の交点（投影点） $T_j$ の集まりとして定義する。このとき、投影点列 $S$ は、 $S = \{T_j \mid j \in J\}$  と書け、さらにその集合を $\sigma$ とおけば、 $S \in \sigma$ となる。

【0113】

次に、前記各投影面にテクスチャマッピングする画像を保持する配列（テクスチャ配列）を、例えば、前記画像を生成する装置のメモリ上に確保する（ステップ10304）。このとき、確保する配列は、例えば、前記投影点の位置に対応するテクスチャ情報を、画素毎に色情報（ $R, G, B$ ）及び存在確率の情報を8ビットずつ持たせる。

【0114】

また、前記ステップ10304では、前記テクスチャ配列の画素の2次元デジタル座標（ $U_j, V_j$ ）と投影点 $T_j$ の3次元座標（ $X_j, Y_j, Z_j$ ）の対応関係も設定する。このとき、例えば、すべての（ $U_j, V_j$ ）の値に対して（ $X_j, Y_j, Z_j$ ）の値をテーブルとして設定してもよいし、代表的な（ $U_j, V_j$ ）に対してのみ（ $X_j, Y_j, Z_j$ ）の値を設定し、その他の座標は、例えば、線形補完等の補完処理により求めてもよい。

【0115】

次に、前記ステップ101で取得した被写体の画像をもとに、前記ステップ10304で確保した各投影点 $T_j$ に相当する画素の色情報 $K_j$ 及び存在確率 $\beta_j$ を決定する（ステップ10305）。このとき、前記色情報及び存在確率は、ある投影点列 $S$ 上の投影点 $T_j$ を $T_j \in S$ の範囲で順に走査し、それを投影点列 $S$ （ $\in \sigma$ ）の範囲で繰り返す2重のループ処理を行う。

【0116】

前記ステップ10305の処理を行うときには、まず、図14に示すように、走査する投影点列 $S$ を開始位置に初期化する（ステップ10305a）。そして次に、走査する投影点 $T_j$ を投影点列 $S$ 内で開始位置に初期化し、例えば、 $j=1$ とする（ステップ10305b）。

【0117】

次に、前記投影点 $T_j$ の座標（ $X_j^*, Y_j^*, Z_j^*$ ）の色情報 $K_j$ を決定する（ステップ10305c）。前記ステップ10305cでは、まず、座標（ $X_j^*, Y_j^*, Z_j^*$ ）の位置にある点を撮影したとき、画像面（イメージセンサ）どの位置に対応するかを前記数式19から数式22までの関係を用いて算出する。そして、前記投影点 $T_j$ に対応するテクスチャ配列上の画素（ $U_j^*, V_j^*$ ）における色情報は、例えば、（ $u_{ij}^*, v_{ij}^*$ ）（ $i \in I$ ）における色情報とする。

【0118】

次に、前記投影点  $T_j$  の合焦点度  $Q_j$  を決定する。このとき、前記合焦点度  $Q_j$  は、例えば、対応点の局所空間周波数の大きさに基づいて、前記数式 1 を用いて算出する（ステップ 10305 d）。

【0119】

前記ステップ 10305 d までの処理が済んだら、次に、前記投影点  $T_j$  を更新し、投影点  $T_j \in S$  をすべて走査したかを判別する（ステップ 10305 e）。ここでもし、すべてを走査し終えたのなら、次のステップ 10305 f に進み、まだ走査し終えていないのであれば前記ステップ 10305 c に戻る。

【0120】

前記ステップ 10305 e で、すべて走査し終えたとは判別されたら、次に、前記ステップ 10305 d で算出した各投影点  $T_j$  の合焦点度  $Q_j$  に基づいて、前記投影点列  $S$  上のすべての投影点  $T_j$  ( $j \in J$ ) について、各投影点上に被写体が存在する確率（存在確率） $\beta_j$  を決定する（ステップ 10305 f）。前記存在確率  $\beta_j$  は、例えば、前記数式 4 を用いて決定する。なお、前記存在確率  $\beta_j$  は、基本的には、前記数式 2 及び数式 3 の条件を満たせばよいので、前記数式 4 以外の数式を用いてもよい。

【0121】

次に、投影点列  $S$  を更新し、投影点列  $S \in \sigma$  をすべて走査したかを判別する（ステップ 10305 g）。ここでもし、すべてを走査し終えたのなら前記ステップ 103 の処理、すなわち前記被写体の 3 次元的な形状の取得が終了する。また、まだ走査していない投影点列があれば、ステップ 10305 b に戻る。

【0122】

前記ステップ 10305 g で、すべての投影点列について走査し終えたとは判別されたら、次に、前記投影面  $L_j$  ( $j=1, 2, \dots, M$ ) を用いて表現される被写体を、前記仮想視点  $P$  から見た画像を、前記存在確率  $\beta_j$  に応じて描画して生成する（ステップ 104）。ここで、例えば、図 15 に示すように、仮想視点  $P$  における画像面の座標が  $u_p, v_p$  で表されているとする。このとき、画像面上のある画素  $p^*$  ( $u_p^*, v_p^*$ ) の色情報  $K_p^*$  は、仮想視点  $P$  と画像面上の画素  $p^*$  を結ぶ直線上にある投影点列  $\{T_j^* | j \in J\}$  の色情報  $\{K_j^* | j \in J\}$  に対応する存在確率  $\{\beta_j^* | j \in J\}$  を掛けて加算したものとして決定され、下記数式 23 のように表される。

【0123】

【数 23】

【数 23】

$$K_p^* = \sum_{j=1}^M \beta_j^* K_j^*$$

【0124】

そして、画像面上にあるすべての画素について、前記数式 23 を用いて色情報を決定すれば、仮想視点  $P$  における画像を得ることができる。

【0125】

また、前記数式 23 の代わりに、下記数式 24 を用いて  $K_p^*$  を計算すると、基準視点  $R$  と仮想視点  $P$  の位置が異なる場合でも、 $K_p^*$  は必ず有効な色空間の範囲内に収めることが保証される。

【0126】

【数 2 4】

【数 2 4】

$$K_p^* = \frac{\sum_{j=1}^M \beta_j^* K_j^*}{\sum_{j=1}^M \beta_j^*}$$

【0127】

なお、ここでは画像面の画素を走査して色情報を決定する手順を示したが、これに限らず、例えば、OpenGL や DirectX 等の汎用的なグラフィックスライブラリに投影面  $L_j$  の構成、テクスチャ配列、仮想視点  $P$  の設定などのデータを受け渡し、描画処理を任せてもよい。

【0128】

以上で本実施例 1 の前記仮想視点画像の生成処理が終了し、生成された画像は、CRT (Cathode Ray Tube)、液晶ディスプレイ等の画像表示手段に出力される。このとき、前記画像表示手段に表示される画像は、例えば、被写体の像のうち、前記ステップ 10305d で算出した合焦点度  $Q$  が低い投影点の色情報は、生成した画像上の点の色情報への寄与が小さい。そのため、距離の推定の信頼性が低い投影点については曖昧に描画される。その結果、例えば、従来の方法で生成した画像のように、部分的に画像が欠損している、あるいは画質が極端に劣化しているようには見えず、利用者の目には気にならない程度の劣化となる。

【0129】

図 16 乃至図 19 は、本実施例 1 の画像生成方法で画像を生成する装置の概略構成を示す模式図であり、図 16 は装置の構成を示すブロック図、図 17 乃至図 19 は被写体画像撮影手段の構成例を示す図である。

図 16 において、2 は画像生成装置、201 は多焦点画像（被写体画像）取得手段、202 は仮想視点設定手段、203 は投影面等設定手段、204 はテクスチャ配列確保手段、205 は色情報／存在確率決定手段、206 はレンダリング手段、207 は生成画像出力手段、3 は多焦点画像（被写体画像）撮影手段、4 は視点情報入力手段、5 は画像表示手段である。また、図 17 において、6 は偏光型二値光学系、7、7A、7B はイメージセンサ、8 はビームスプリッタ、ObjA、ObjB は被写体である。また、図 18 において、9 は偏向フィルタである。また、図 19 において、10 は可変焦点レンズ、11a、11b、11c、11d は固定焦点レンズ、12 はレンズホルダである。

【0130】

本発明の画像生成方法を用いて画像を生成するときに用いる画像生成装置 2 は、例えば、図 16 に示すように、合焦距離が異なる複数枚の画像を取得する被写体画像取得手段 201 と、生成する画像の視点（仮想視点）を設定する仮想視点設定手段 202 と、仮想的な 3 次元空間上に多層構造の投影面を設定する投影面設定手段 203 と、前記投影面に貼り付ける画像（テクスチャ画像）の配列をメモリ上に割り当てるテクスチャ配列確保手段 204 と、前記テクスチャ配列確保手段 204 で確保したテクスチャ配列を用いて、前記各投影面上の点（以下、投影点という）の色情報及び存在確率を決定する色情報／存在確率決定手段 205 と、前記各投影点の色情報を前記存在確率に応じた割合で混合し、生成する画像上の各画素の色情報を決定するレンダリング手段 206 と、前記レンダリング手段 206 で生成された画像を出力する生成画像出力手段 207 とを備える。

【0131】

このとき、前記被写体画像取得手段 201 では、例えば、偏光型二値光学系（例えば、参考文献 5 を参照。）のように偏光成分に応じて合焦距離が変わるレンズを備える被写体

画像撮影手段3で撮影した被写体の画像を取得する。また、前記偏光型二値光学系に限らず、可変焦点レンズ（例えば、参考文献6を参照。）を備える撮影手段で撮影した画像を取得してもよい。また、その他にも、例えば、複数の焦点距離が異なるレンズを一体的に支持しておき、個々のレンズを高速で切り替えながら撮影した画像を取得してもよい。またこのとき、前記被写体画像取得手段201は、刻々と変化する被写体の位置・姿勢を一定の間隔、例えば、30Hzの間隔で逐次的に取得することも、任意の時刻における被写体の静止画像を取得することも可能である。また、前記被写体の画像は、前記被写体画像撮影手段3で撮影した後、磁氣的または電氣的、あるいは光学的な記録媒体（記録装置）に記録された画像を取得してもよい。なお、前記被写体の画像は、同一時刻に撮影した画像であることが望ましいが、被写体の位置や姿勢の変化が十分に遅く、静止物と見なせる場合にはこの限りではない。

#### 【0132】

また、前記仮想視点設定手段202は、前記生成する画像の視点（仮想視点）のパラメータとして、例えば、位置、方向、画角を設定する。このとき、前記仮想視点は、前記仮想視点設定手段202において自動的に決定してもよいし、利用者がマウスやキーボード等の視点情報入力手段4を用いて入力した情報に基づいて決定してもよい。またこのとき、視点情報入力手段4は、前記利用者が装着する位置・姿勢検出センサでもよい。また、他のプログラムにより与えられるものでも、ネットワークを介して与えられるものでも可能である。

#### 【0133】

また、前記投影面等設定手段203は、例えば、図12に示したステップ10301、ステップ10302、ステップ10303の処理を行う。

#### 【0134】

また、前記テクスチャ配列確保手段204では、図12に示したステップ10304の処理を行い、例えば、各画素について色情報と存在確率に関する情報を保持し、例えば、赤（R）、緑（G）、青（B）の3原色及び前記存在確率に対して各8ビットで表現するテクスチャ配列を確保する。ただし、本発明はこのような特定のデータ表現形式に依存するものではない。

#### 【0135】

また、前記色情報／存在確率決定手段205は、図12に示したステップ10305の処理を行い、例えば、図14に示したようなステップ10305aからステップ10305gまでの処理を行う。また、前記レンダリング手段206は、前記色情報／存在確率決定手段205の結果をもとにして、図12に示したステップ104の処理を行い、前記仮想視点Pからみた前記被写体の画像を生成する。

#### 【0136】

また、前記レンダリング手段206で生成した仮想視点画像は、前記生成画像出力手段207から出力され、CRT、LCD（Liquid Crystal Display）、PDP（Plasma Display Panel）等の画像表示手段5で表示される。このとき、前記画像表示手段5は、例えば、2次元平面状の表示装置でもよいし、利用者を取り囲むような曲面状の表示装置であってもよい。また、前記画像表示手段5として、立体表示が可能な表示装置を用いれば、前記仮想視点設定手段202で、前記利用者の左右眼に相当する2つの視点を決定し、前記2つの視点からの立体画像を生成したのち、利用者の左右眼に独立した画像を提示することも可能である。また、3つ以上の仮想視点からの画像を生成し、3つ以上の視差がついた画像を表示することのできる3次元ディスプレイを用いれば、1人以上の利用者に対して立体映像を提示することも可能である。

#### 【0137】

また、前記生成画像出力手段207は、前記生成した画像を前記画像表示手段5に出力するだけでなく、例えば、電氣的、磁氣的、光学的な記録媒体に出力するような手段であってもよい。

#### 【0138】

またこのとき、図示は省略するが、前記画像生成装置 2 に、前記生成した画像を蓄積する蓄積手段を設けて前記生成した画像を蓄積しておき、利用者からの指示に応じて、蓄積された画像を出力し前記画像表示手段 5 で表示するようにしてもよい。

#### 【0139】

また、前記撮影手段 3 として、例えば、偏光型二値光学系が組み込まれているカメラを用いれば、2通りの合焦距離で前記被写体  $O b j$  を撮影することができる。前記偏光型二値光学系は、光学的な異方性（複屈折性）を示す材質を用いた光学系であり、例えば、図 17 (a) に示すように、前記偏光型二値光学系 6 を通る光の偏光成分が  $p$  成分の場合と、 $s$  成分の場合で合焦距離  $f_1$ ,  $f_2$  が異なる。このとき、一般的な撮影手段のように、1枚のイメージセンサ 7 上に画像を結像すれば、前記イメージセンサ 7 から得られる画像では、前記  $p$  成分によるイメージと  $s$  成分によるイメージ、すなわち合焦距離  $f_1$  で撮影した画像と合焦距離  $f_2$  で撮影した画像が重なった画像になってしまう。そのため、例えば、図 17 (b) に示すように、前記偏光型二値光学系 6 を通った光をビームスプリッタ 8 で分離し、 $p$  成分の光を第 1 イメージセンサ 7 A に結像させ、 $s$  成分の光を第 2 イメージセンサ 7 B に結像させれば、合焦距離が  $f_1$  の画像と、合焦距離が  $f_2$  の画像に分離して取得することができる。

#### 【0140】

ここで、例えば、図 17 (b) に示したように、前記合焦距離  $f_1$  の近傍に被写体  $O b j A$  があり、合焦距離  $f_2$  の近傍に別の被写体  $O b j B$  があるとすれば、前記第 1 イメージセンサ 7 A の画像、すなわち  $p$  成分の光で結像させた画像は、図 17 (c) に示したように、被写体  $O b j A$  がシャープで、被写体  $O b j B$  がぼやけた画像になる。一方、前記第 2 イメージセンサ 7 B の画像は、逆に、被写体  $O b j A$  がぼやけ、被写体  $O b j B$  がシャープな画像になる。

#### 【0141】

また、前記偏光型二値光学系 6 を用いて撮影した画像を分離するときには、前記ビームスプリッタ 8 の代わりに、例えば、図 18 (a) に示すように、前記偏光型二値光学系 6 とイメージセンサ 7 の間に偏光フィルタ 9 を設置してもよい。このとき、設置する偏光フィルタ 9 は、例えば、図 18 (b) に示すように、 $p$  成分に対するフィルタ 9 A と  $s$  成分に対するフィルタ 9 B が、市松格子状に配置されたフィルタを用いる。このとき、各フィルタ 9 A, 9 B が前記イメージセンサ 7 の画素と同じサイズ、あるいは  $n \times n$  画素のサイズであれば、前記イメージセンサ 7 で得られた画像から、 $p$  成分または  $s$  成分に相当する画素を間引くことで、図 17 (c) に示したような 2 枚の画像が得られる。

#### 【0142】

また、前記合焦距離が異なる複数枚の画像を撮影するときには、前記偏光型二値光学系 6 を用いる代わりに、例えば、図 19 (a) に示すように、可変焦点レンズ 10 を用いてもよい。前記可変焦点レンズ 10 を用いれば、例えば、図 19 (a) に示したように、1つのレンズで 4 つの焦点位置  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$  の画像を得ることができる。

#### 【0143】

またさらに、前記偏光型二値光学系 6 や可変焦点レンズ 10 のように、レンズの媒質の屈折率を変化させることで焦点位置を変化させる代わりに、図 19 (b) に示すように、合焦距離が固定しており、かつ、互いに異なる固定焦点レンズ 11 a, 11 b, 11 c, 11 d をレンズホルダ 12 で一体的に支持し、例えば、レンズホルダ 12 を回転させて個々のレンズを高速で切り替えながら画像を撮影してもよい。

#### 【0144】

以上説明したように、本実施例 1 の画像生成方法によれば、従来の手段のようにあらゆる場合及びあらゆる箇所で被写体の正確な幾何モデルを得ようとするのではなく、被写体の撮影条件や部位によっては距離推定で十分な信頼性を持つ推定値が得られないことを前提として、推定の信頼性が低い箇所については曖昧に描画して画像生成への寄与を低くし、極端な画像の劣化を防止するとともに、推定の信頼性が高い箇所については明瞭に描画して画像生成への寄与を高くする。そのため、推定の信頼性が低い箇所の画像の劣化を目

立たなくすることができ、利用者の見た目には劣化の少ない仮想視点画像とすることができる。

【0145】

また、本実施例1の画像生成方法では、テクスチャマッピングの手法を利用して物体の3次元的な形状を取得し、前記仮想視点Pから見た画像を生成するので、図16に示したような画像生成装置2で前記仮想視点画像を生成するときの負荷を小さくすることができ、高速に仮想視点画像を生成することができる。

【0146】

また、前記画像生成装置2は、専用の装置（計算機）である必要はなく、例えば、コンピュータとプログラムによっても実現することができる。その場合、図12及び図14に示したような各ステップをコンピュータに実行させることが可能なプログラムを作成し、前記コンピュータに実行させれば、一般に普及しているパーソナル・コンピュータでも、画像の劣化が少ない仮想視点画像を容易に、かつ高速に生成することができる。またこのとき、前記プログラムは、磁氣的、電氣的、あるいは光学的な記録媒体に記録して提供することもできるし、ネットワークを通して提供することも可能である。

【0147】

なお、本実施例1で説明した画像生成装置の構成、及び画像の生成方法や処理手順は一例であり、本発明の本旨とするのは、多層から構成される投影面にテクスチャマッピングする画像に対して存在確率を与え、推定した距離の信頼性が低いところは複数の投影面にテクスチャマッピングして曖昧に描画する点である。そのため、この主旨を大きく逸脱しない範囲において特定の処理方法や実装に依存するものではない。

【0148】

また、本実施例1の画像生成方法では、画像上の点（画素）が赤（R）、緑（G）、青（B）の3原色を用いた色情報で表現されたカラー画像を取得し、前記仮想視点画像を生成する場合を例に挙げて説明したが、本実施例1の画像生成方法は、前記カラー画像に限らず、画像上の各点（画素）が輝度（Y）、色差（U、V）を用いた表現の白黒画像を取得し、前記仮想視点画像を生成することもできる。取得する画像が前記白黒画像の場合、前記色情報に相当する情報として、前記輝度情報（Y）を用いて、本実施例1で説明したような手順で仮想視点画像を生成すればよい。

【0149】

図20及び図21は、本実施例1の画像生成装置を用いた画像生成システムの概略構成を示す模式図であり、図20は画像生成システムの一構成例を示す図、図21は画像生成システムの他の構成例を示す図である。

【0150】

本実施例1の画像生成装置1は、例えば、図20に示すような画像生成システムに適用することができる。このとき、利用者Userがマウス等の前記視点情報入力手段4を用いて、所望の視点位置、方向、画角を指定すると、前記画像生成装置2は、前記撮影手段3で撮影している被写体Objの画像を取得する。そして、前記被写体Objの画像を取得した前記画像生成装置1では、本実施例1で説明したような手順で、前記利用者Userが指定した視点位置、方向、画角から前記被写体Objを見たときの画像を生成する。そして、生成した画像を画像表示手段5に表示し、利用者Userに提示する。

【0151】

このとき、前記撮影手段3は、前記利用者Userがいる場所と地理的に近い場所に設置されていてもよいし、インターネット等のネットワークを介して、地理的に遠隔な場所に設置されていてもよい。

【0152】

また、本実施例1の画像生成装置1は、例えば、図20に示したように、利用者Userと被写体Objの関係が固定されている一方向の画像生成システムだけでなく、テレビ電話やテレビ会議のような双方向の通信システムに適用することも可能である。

【0153】

本実施例 1 の画像生成装置 2 を双方向の通信システムに適用するときには、例えば、図 21 に示すように、利用者 User A を撮影する撮影手段 3 A 及び利用者 User B を撮影する撮影手段 3 B があればいい。こうすれば、前記利用者 User A は、前記撮影手段 3 B で撮影された利用者 User B の画像を用いて、所望の視点から前記利用者 User B を見たときの画像を生成し、画像表示手段 4 A に表示させることができる。同様に、前記利用者 User B は、前記撮影手段 2 A で撮影された利用者 User A の画像を用いて、所望の視点から前記利用者 User B を見たときの画像を生成し、画像表示手段 4 A に表示させることができる。このとき、前記画像生成装置 2 は、図 21 に示したように、前記各利用者 User A, User B の手元に設置されていてもよいし、どちらか一方の利用者 User A, User B の手元のみ設置されていてもよい。また、インターネットや社内 LAN 等のネットワーク 13 上に前記画像生成装置 2 C を設置すれば、前記各利用者 User A, User B の手元に前記画像生成装置 2 が無くても、前記仮想視点から見た画像を生成し、表示することができる。

#### 【0154】

また、図 21 では、利用者が二人の例を示しているが、さらに多数の利用者間でも、同様の画像生成を行うことができる。そのため、利用者が実際に存在する実空間とは別にコミュニケーションに用いる仮想空間を想定し、その位置関係に応じた他の利用者の画像をお互いに提示し合えば、あたかもネットワーク上の仮想空間（サイバースペース）を共有するような感覚を利用者に提示することができる。

#### 【0155】

なお、図 20 及び図 21 に示したシステムの構成は、本発明における画像生成装置の一適用例を示すものであり、必ずしもこのような構成に限定されるものではない。すなわち、個々の装置及び手段の配置、形態、実装等は、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において任意に設定することができる。

#### 【実施例 2】

#### 【0156】

図 22 は、本発明による実施例 2 の仮想視点画像生成方法を説明するための模式図であり、図 22 (a) は本実施例 2 の特徴となる処理を示すフロー図、図 22 (b) は透明度を決定するステップの具体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

#### 【0157】

本実施例 2 では、前記実施例 1 で説明したような仮想視点画像の生成処理において、前記ステップ 10305 f で決定した投影点の存在確率の代わりに、前記存在確率を透明度に変換して画像生成を行う例を示す。

#### 【0158】

このとき、前記画像生成装置 1 の構成や、全体的な処理手順については、前記実施例 1 で説明した例と同様な形態をとることができるため、以下、差異のある部分のみを説明する。

#### 【0159】

前記実施例 1 では、前記ステップ 10305 f で決定した前記存在確率  $\beta_j$  を用いて、例えば、前記数式 5 を用いて、前記仮想視点 P から見た画像上の各点の色情報を決定し、前記仮想視点画像を生成したが、その場合、図 8 を用いて説明したように、前記被写体の形状や前記基準視点と仮想視点の位置関係によっては、本来の被写体表面の色情報とは大きく異なる場合がある。そこで、本実施例 2 では、そのような問題を解決する方法として、前記存在確率を透明度に変換し、前記各投影点の色情報を前記透明度に応じた割合で混合する方法について説明する。このとき、前記存在確率を透明度に変換するステップは、前記ステップ 103 による処理におけるステップ 10305 f の後、または前記ステップ 104、あるいは前記ステップ 103 とステップ 104 の間で行えばよい。そこで、本実施例 2 では、図 22 (a) に示すように、前記前記存在確率を決定するステップ 10305 f の直後に、前記存在確率を変換して透明度を決定するステップ 105 を付加する。

#### 【0160】

この場合、前記実施例 1 のテクスチャ配列を確保するステップ 10304 では、色情報及び前記存在確率を保持するテクスチャ配列を確保したのに対し、本実施例 2 のステップ 10304 では、色情報及び前記透明度を保持するテクスチャ配列を確保する。

【0161】

前記透明度  $\alpha_j$  は、前記存在確率  $\beta_j$  に基づいて計算され、前記実施例 1 のステップ 10305 f と同様、本実施例 2 でも、前記ステップ 10305 f で前記存在確率をいったん計算し、次のステップ 105 で透明度  $\alpha_j$  を計算する。

【0162】

また、本実施例 2 のレンダリング処理を行うステップ 104 では、前記実施例 1 で説明した前記数式 23 や数式 24 の代わりに、前記数式 11 から前記数式 13 までに従って  $D_j$  を逐次的に計算する。そのため、画像面上のある画素  $p^* (u_p^*, v_p^*)$  の色情報  $K_j^*$  は、下記数式 25 のように計算することになる。

【0163】

【数 25】

【数 25】

$$\begin{aligned} K_p^* &= D_M \\ &= \alpha_M K_M + (1 - \alpha_M) \alpha_{M-1} K_{M-1} + \cdots \\ &\quad + (1 - \alpha_M) (1 - \alpha_{M-1}) \cdots (1 - \alpha_2) \alpha_1 K_1 \end{aligned}$$

【0164】

以上が本実施例 2 における画像生成方法であるが、前記存在確率  $\beta_j$  をもとに透明度  $\alpha_j$  を計算する方法の一例を、以下で示す。

【0165】

まず、前記数式 23 と前記数式 25 を比較すると、下記数式 26 のようになる。

【0166】

【数 26】

【数 26】

$$\begin{cases} \beta_M = \alpha_M \\ \beta_j = \left\{ \prod_{m=j+1}^M (1 - \alpha_m) \right\} \alpha_j \end{cases} \quad (j \in J)$$

【0167】

この関係から、 $j=M, M-1, \dots, 1$  の順に  $\alpha_j$  を求めていく手順は以下のようになる。

【0168】

まず、図 22 (b) に示すように、 $j$  の初期値として  $j=M$  とする (ステップ 105 a)。次に、前記数式 26 から、 $\alpha_M = \beta_M$  と決定する (ステップ 105 b)。次に、 $j$  の値を  $j=j-1$  と更新する (ステップ 105 c)。

【0169】

次に、 $\alpha_{j+1}$  が 1 か否かを判別する (ステップ 105 d)。このとき、 $\alpha_{j+1} \neq 1$  であれば、前記数式 26 の関係から、前記透明度  $\alpha_j$  は下記数式 27 になる (ステップ 105 e)。

【0170】

【数 27】

【数 27】

$$\alpha_j = \frac{1}{\prod_{m=j+1}^M (1 - \alpha_m)} \beta_j$$

【0171】

一方、 $\alpha_{j+1} = 1$  のときは、下記数式 28 により  $\alpha_j$  を決定する (ステップ 105f)。

【0172】

【数 28】

【数 28】

$$\alpha_j = 1$$

【0173】

この根拠を説明すると、まず、 $\alpha_{j+1} = 1$  ならば、下記数式 29 のようになり、前記数式 27 では分母が 0 (零) となるため計算できない。

【0174】

【数 29】

【数 29】

$$\prod_{m=j+1}^M (1 - \alpha_m) = 0$$

【0175】

そこで前記数式 29 を展開すると、下記数式 30 となり、前記数式 26 を代入すると、数式 31 のようになる。

【0176】

【数 30】

【数 30】

$$\begin{aligned} & \alpha_M + (1 - \alpha_M) \alpha_{M-1} + \cdots \\ & + (1 - \alpha_M) (1 - \alpha_{M-1}) \cdots (1 - \alpha_{j+2}) \alpha_{j+1} = 1 \end{aligned}$$

【0177】

【数 31】

【数 31】

$$\beta_M + \beta_{M-1} + \cdots + \beta_{j+1} = 1$$

【0178】

そして、前記数式 31 と前記数式 2 及び数式 23 から、下記数式 32 が得られる。

【0179】

【数 3 2】

【数 3 2】

$$\beta_j = 0$$

【0180】

ここで、前記数式 29 と前記数式 32 を、前記数式 26 の下辺に代入すれば  $0 = 0 \times \alpha_j$  となり、 $\alpha_j$  は任意の値をとりうるということがわかる。そこで、本実施例 2 では、例えば、 $\alpha_j = 1$  と設定する。

【0181】

ただし、前述のように、 $\alpha_j$  は任意の値に設定することができ、本発明は特定の  $\alpha_j$  の決定法に依存するものではない。

【0182】

次に、 $j=1$  まで処理したかを判別し（ステップ 105g）、すべての処理が済んだならば終了、まだ済んでいないのであれば前記ステップ 105c に戻る。

【0183】

以上説明したように、本実施例 2 の画像生成方法によれば、前記実施例 1 と同様に、部分的な画像の劣化が目立たない仮想視点画像を容易に、かつ高速に生成することができる。

【0184】

また、前記実施例 1 で説明したように、存在確率をそのまま用いた画像生成では、基準視点と仮想視点異なる場合に被写体の遮蔽領域付近で輝度の増加が生じることがあるのに対し、本実施例 2 のように、存在確率を透明度に変換する画像生成では、この現象を防止する効果がある。そのため、画像の劣化が少なく、より実際の被写体に近い仮想視点画像を得ることができる。

【0185】

また、前記実施例 1 で説明したように、存在確率をそのまま用いる画像生成では、基準視点と仮想視点異なる場合には、色情報を混合したときに有効な色情報の範囲内に収まる保証がなく、例えば、補正処理が必要であるのに対し、本実施例 2 のように、前記存在確率情報を透明度に変換する画像生成では、このような補正は不要である。そのため、画像生成処理が簡略化できる。

【0186】

また、本実施例 2 の仮想視点画像生成方法のように、存在確率を透明度に変換する画像生成では、半透過の被写体も効率的に表現することができ、現実世界にあるより多くの被写体に対して広く本発明を適用できる効果がある。

【0187】

なお、本実施例 2 で説明した画像生成方法は一例であり、本実施例の本旨とするところは、前記存在確率を透明度に変換して仮想視点画像を生成することである。そのため、この主旨を大きく逸脱しない範囲において特定の計算方法や処理手順に依存するものではない。

【0188】

また、本実施例 2 の画像生成方法の場合も、取得する画像はカラー画像、白黒画像のどちらでもよく、白黒画像の場合は、前記色情報に相当する情報として、輝度情報（Y）を用いて、本実施例 2 で説明したような混合処理を行えばよい。

【0189】

以上、本発明を、前記実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において、種々変更可能であることはもちろんである。

【0190】

図 23 は、本発明の画像生成方法における、他の生成方法を説明するための模式図であ

る。

#### 【0191】

前記実施例1及び実施例2の画像生成方法では、合焦距離が異なる複数枚の画像の取得に一般的なレンズを用い、色情報の投影あるいは射影をするときに、ピンホール光学系で近似することを前提として説明した。しかしながら、本発明の画像生成方法のように、合焦距離が異なる画像を用いる場合、例えば、テレセントリック・レンズを用いて前記複数枚の画像を取得すれば、色情報の投影あるいは射影をするときに、図23に示すように、平行投影系を設定することもできる。この場合、生成する画像上の点Aを通り、画像面に垂直な直線と前記投影面 $L_j$ の交点を対応点 $T_j$ とし、前記実施例で説明したような手順で各投影点 $T_j$ 上に被写体が存在する確率 $\beta_j$ を求めればよい。このとき、図23に示したように、投影点 $T_1$ にテクスチャマッピングする対応点 $G_1$ の座標のx成分及びy成分は、イメージセンサ上の点Gのx成分及びy成分になる。そして、取得した画像 $Im\ g_i$ において、前記対応点 $G_1$ に写っている部分と同じ部分は、前記イメージセンサ上の点Gを通り前記イメージセンサと垂直な直線上になるので、これらの点を対応点 $G_i$ として前記投影点 $T_1$ の色情報 $K_1$ 及び合焦点度 $Q_1$ を決定する。そして、この処理を同一直線上の各投影点 $T_j$ に対して行った後、前記各投影点の合焦点度から存在確率 $\beta_j$ を求めればよい。

#### 【0192】

(参考文献)

1. A.P.Pentland: "A New Sense for Depth of Field," IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.PAMI-9, No.4, pp.523-531(1987).
2. Murali Subbarao and gopal Surya: "Depth from Defocus: A Spatial Domain Approach," International Journal of Computer Vision, 13, 3, pp.271-294, Kluwer Academic Publishers.
3. 石原満宏, 佐々木博美: "合焦法による高速三次元形状計測", 精密工学会誌, Vol. 63, No.1, pp.124-128, 精密工学会.
4. 大場光太郎, 山田茂: "実時間全焦点顕微鏡カメラ", 0 plus E, Vol.22, No.12, p.1568-1576, 2000, 新技術コミュニケーションズ.
5. 特開2000-258738号公報
6. 特許第3303275号公報

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0193】

【図1】本発明の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影面及び基準視点の設定例を示す図である。

【図2】本発明の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影面及び基準視点の設定例を示す図である。

【図3】本発明の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影点の色情報及び合焦点度の決定方法を説明する図である。

【図4】本発明の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影点の存在確率の決定方法を説明する図である。

【図5】本発明の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影点の存在確率の決定方法を説明する図である。

【図6】本発明の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影点の存在確率の決定方法を説明する図である。

【図7】本発明の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、仮想視点から見た画像の生成方法を説明する図である。

【図8】本発明の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、本発明の画像生成方法において問題となる点を説明する図である。

【図9】本発明の画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、本発明の画像生成方法において問題となる点を解決する方法を説明する図である。

【図10】本発明の画像生成方法の数理モデルを説明するための模式図であり、投影

点, 対応点, 生成する画像上の点の関係を示す図である。

【図 1 1】本発明の画像生成方法の数理モデルを説明するための模式図であり、空間上の点と画像上の画素の変換方法を説明する図である。

【図 1 2】本発明による実施例 1 の画像生成方法を説明するための模式図であり、画像の生成手順を示すフロー図である。

【図 1 3】本発明による実施例 1 の画像生成方法を説明するための模式図であり、投影点列の設定方法を説明する図である。

【図 1 4】本発明による実施例 1 の画像生成方法を説明するための模式図であり、図 1 2 のステップ 1 0 3 0 5 の処理の具体例を示すフロー図である。

【図 1 5】本発明による実施例 1 の画像生成方法を説明するための模式図であり、レンダリングの方法を説明する図である。

【図 1 6】本実施例 1 の画像生成方法で画像を生成する装置の概略構成を示す模式図であり、装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 7】本実施例 1 の画像生成方法で画像を生成する装置の概略構成を示す模式図であり、被写体画像撮影手段の構成例を示す図である。

【図 1 8】本実施例 1 の画像生成方法で画像を生成する装置の概略構成を示す模式図であり、被写体画像撮影手段の構成例を示す図である。

【図 1 9】本実施例 1 の画像生成方法で画像を生成する装置の概略構成を示す模式図であり、被写体画像撮影手段の構成例を示す図である。

【図 2 0】本実施例 1 の画像生成装置を用いた画像生成システムの概略構成を示す模式図であり、画像生成システムの一構成例を示す図である。

【図 2 1】本実施例 1 の画像生成装置を用いた画像生成システムの概略構成を示す模式図であり、画像生成システムの他の構成例を示す図である。

【図 2 2】本発明による実施例 2 の仮想視点画像生成方法を説明するための模式図であり、図 2 2 (a) は本実施例 2 の特徴となる処理を示すフロー図、図 2 2 (b) は透明度を決定するステップの具体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

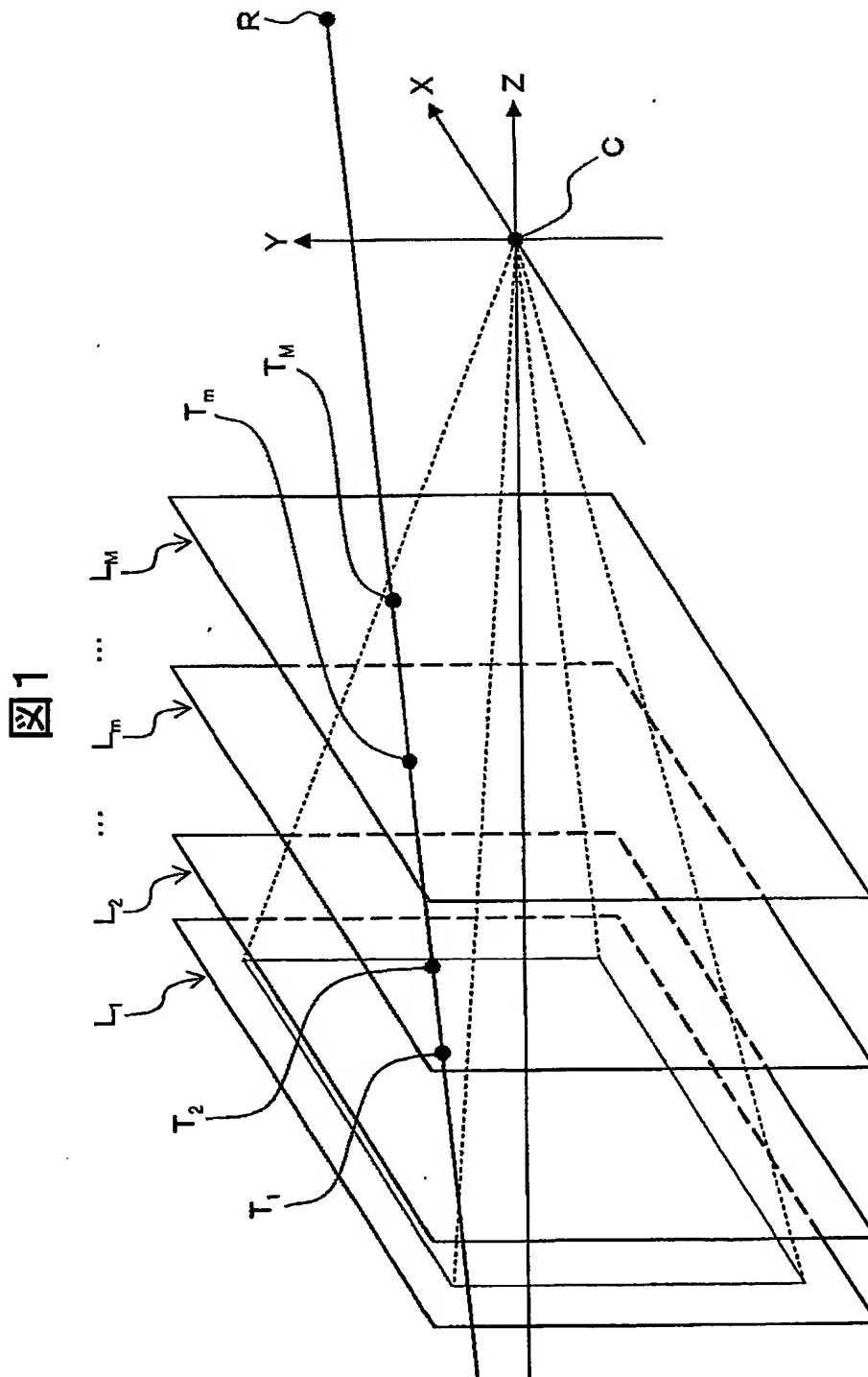
【図 2 3】本発明の画像生成方法における、他の生成方法を説明するための模式図である。

#### 【符号の説明】

##### 【0194】

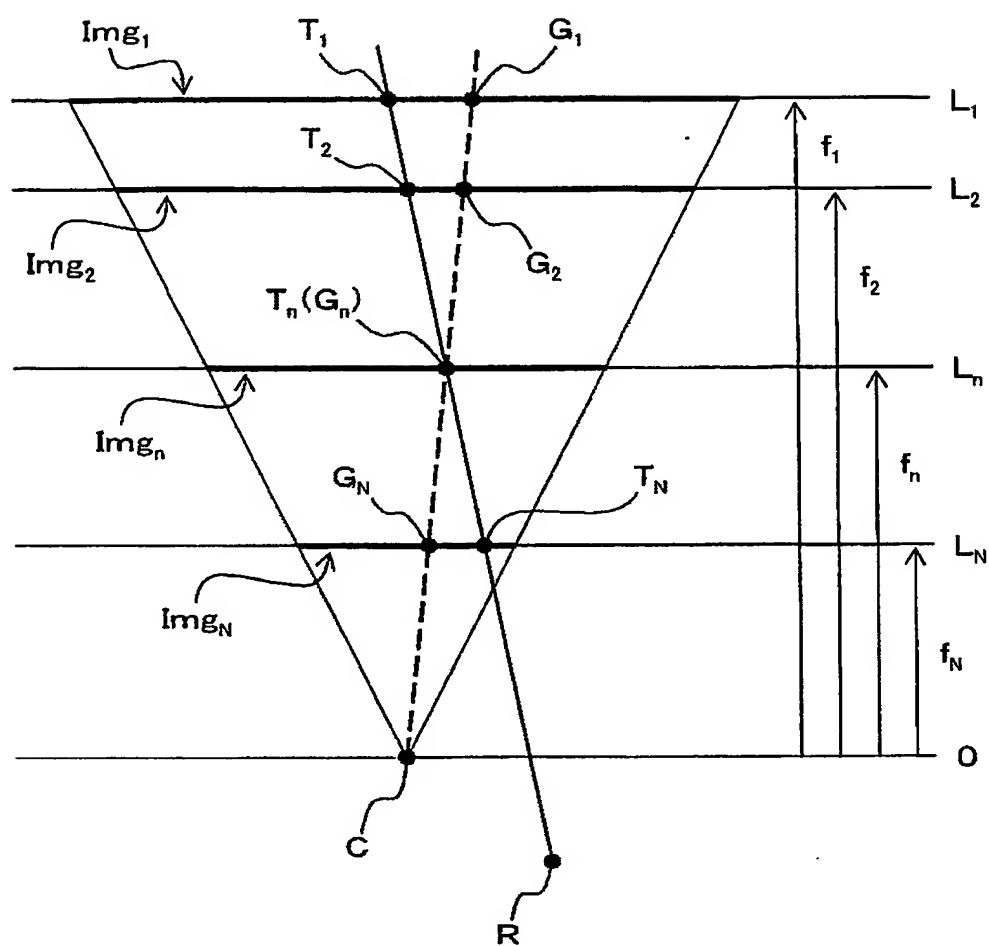
- 2, 2 A, 2 B, 2 C…画像生成装置
- 2 0 1…被写体画像取得手段
- 2 0 2…仮想視点設定手段
- 2 0 3…投影面等設定手段
- 2 0 4…テクスチャ配列確保手段
- 2 0 5…色情報/存在確率決定手段
- 2 0 6…レンダリング手段
- 2 0 7…生成画像出力手段
- 3, 3 A, 3 B…被写体画像撮影手段
- 4, 4 A, 4 B…視点情報入力手段
- 5, 5 A, 5 B…画像表示手段
- 6…偏光型二値光学系
- 7, 7 A, 7 B…イメージセンサ
- 8…ビームスプリッタ
- 9…偏光フィルタ
- 1 0…可変焦点レンズ
- 1 1 a, 1 1 b, 1 1 c, 1 1 d…固定焦点レンズ
- 1 2…レンズホルダ

【書類名】図面  
【図 1】



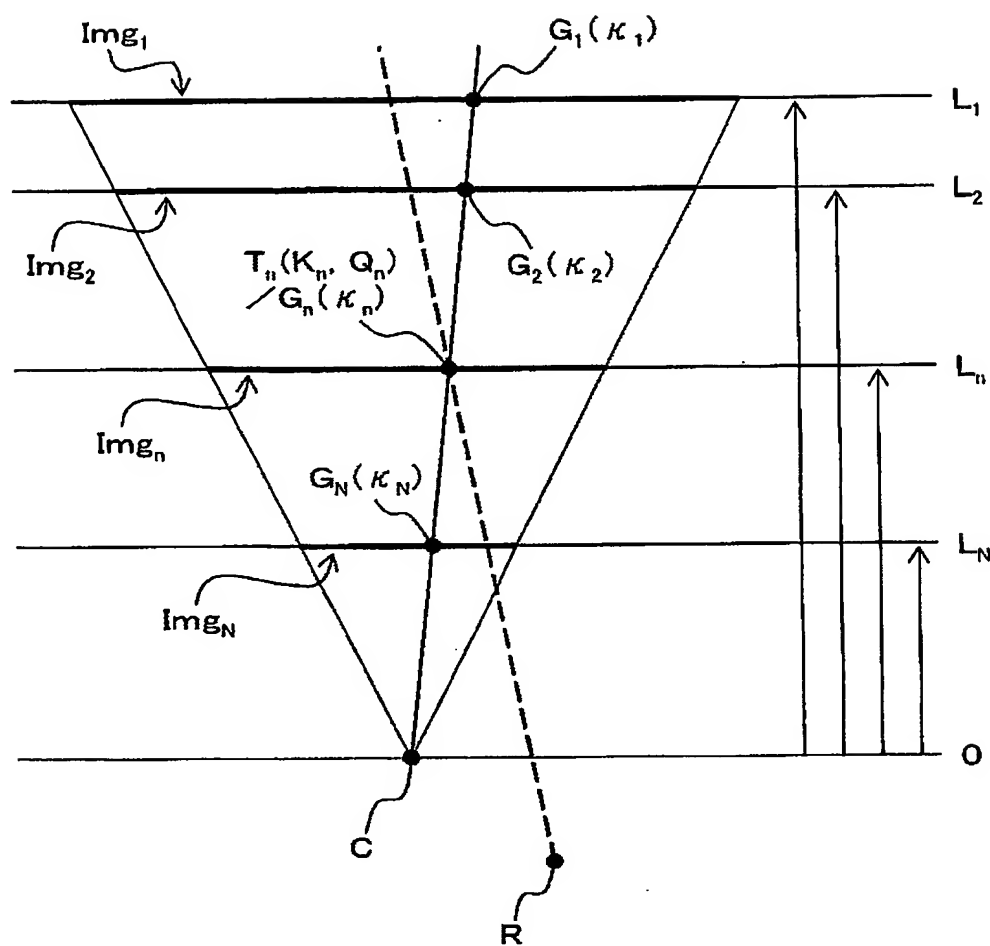
【図 2】

図 2



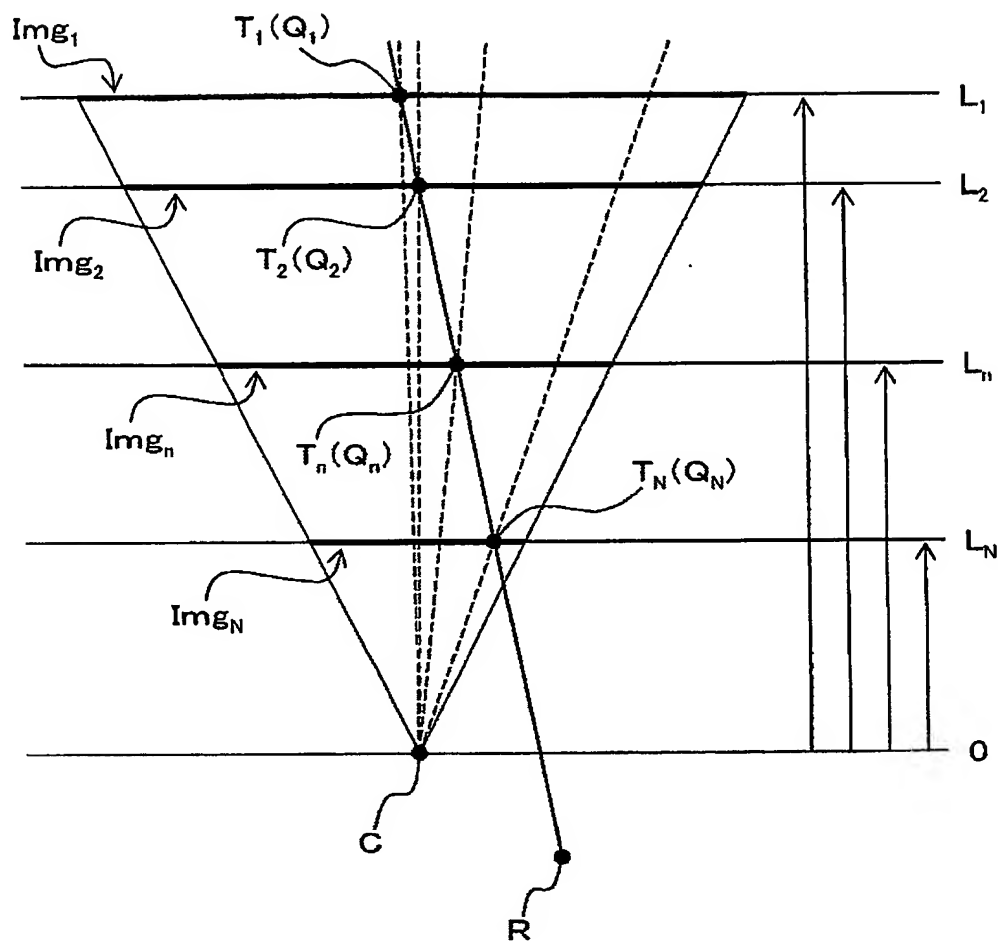
【図 3】

図3



【図 4】

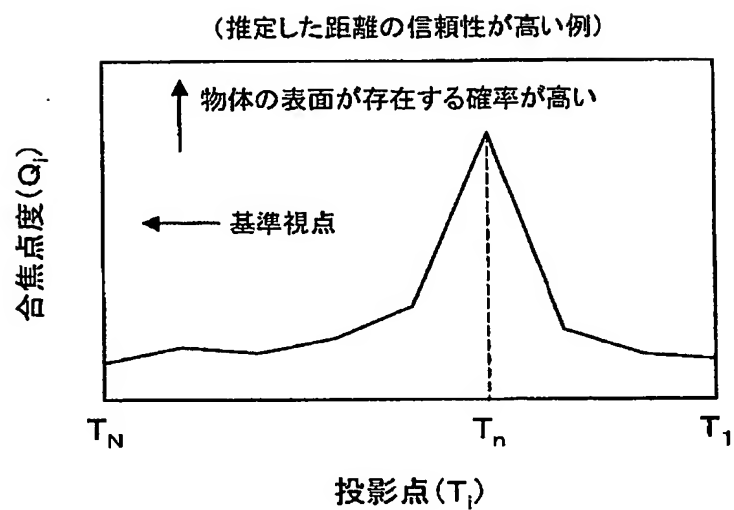
図 4



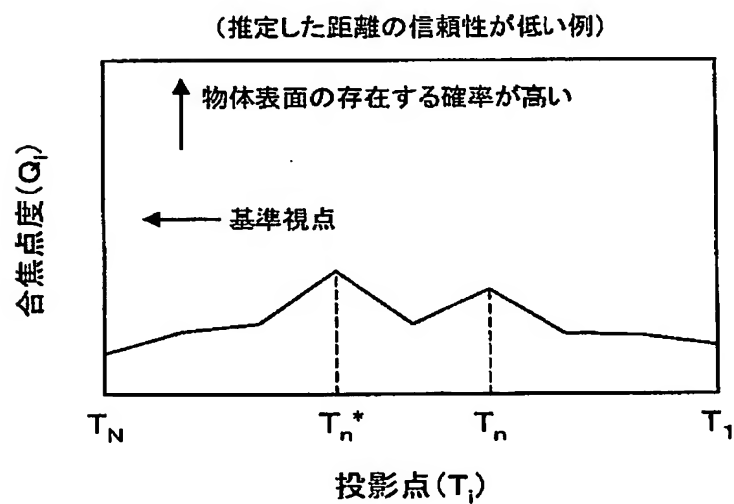
【図 5】

図 5

(a)

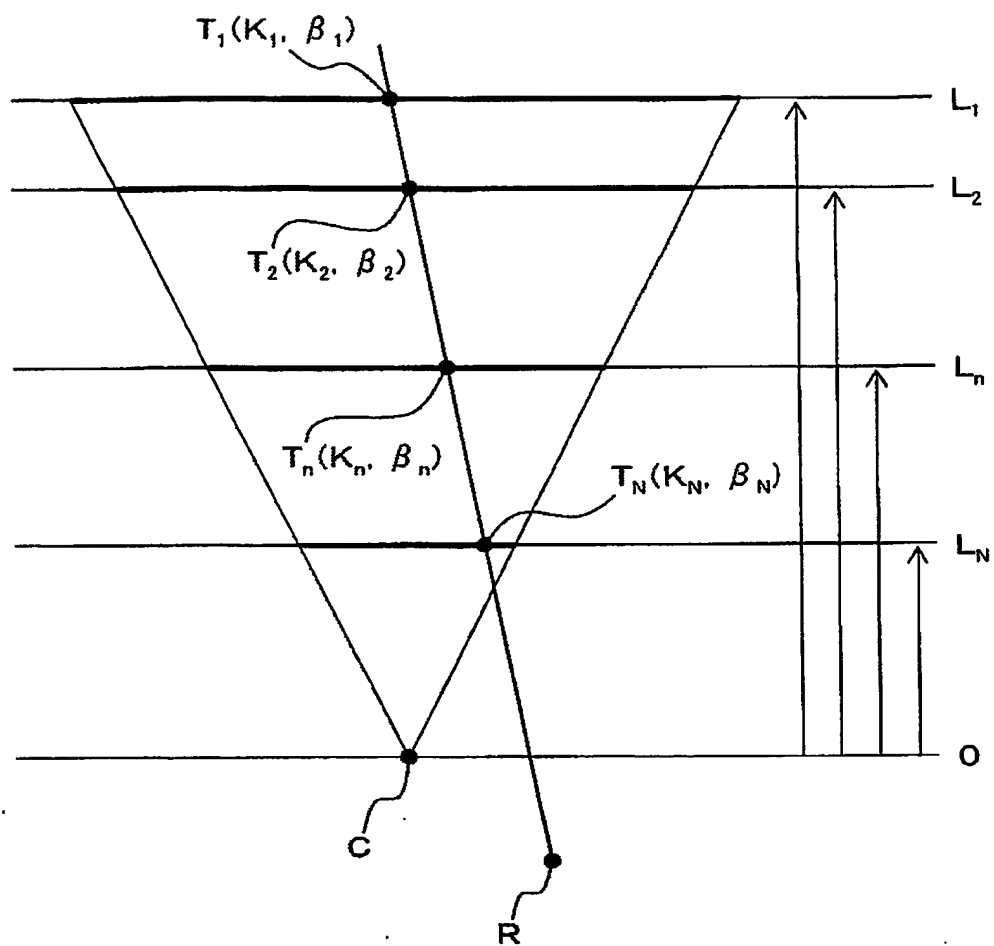


(b)



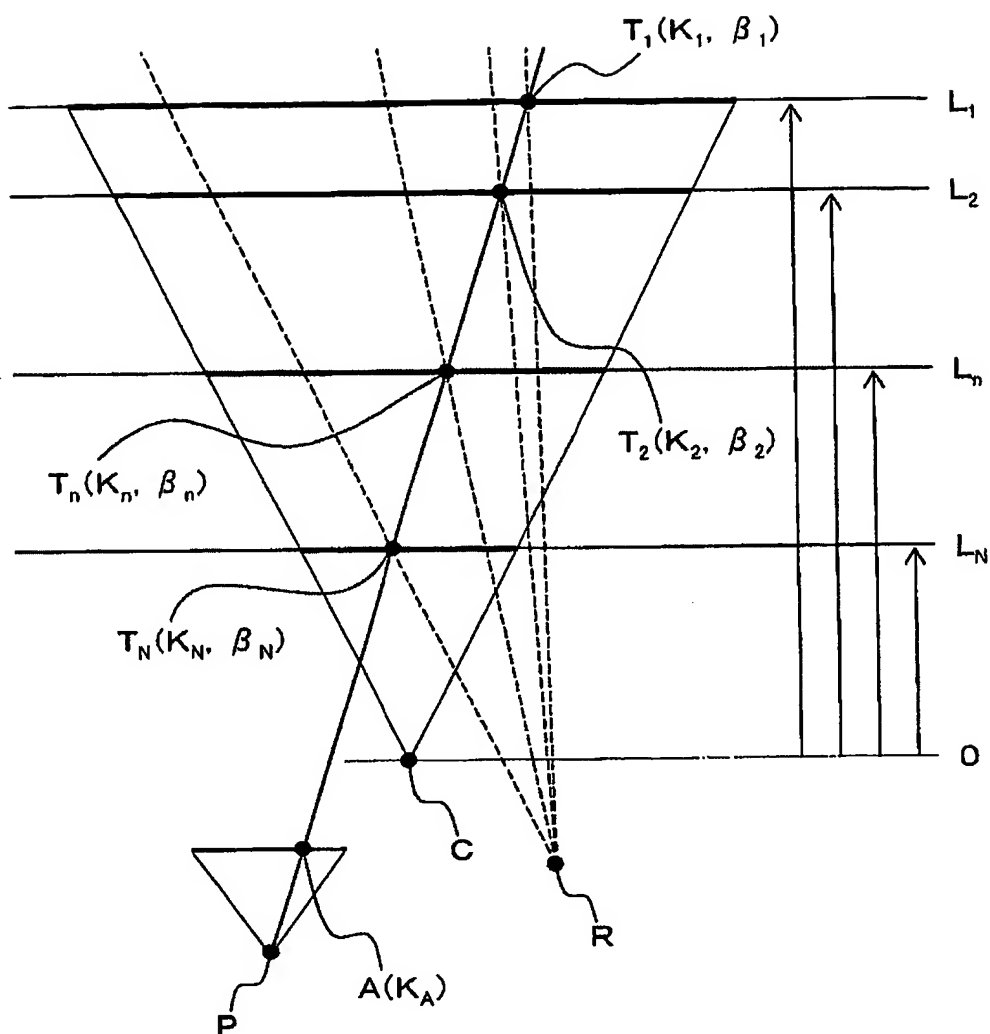
【図 6】

図 6



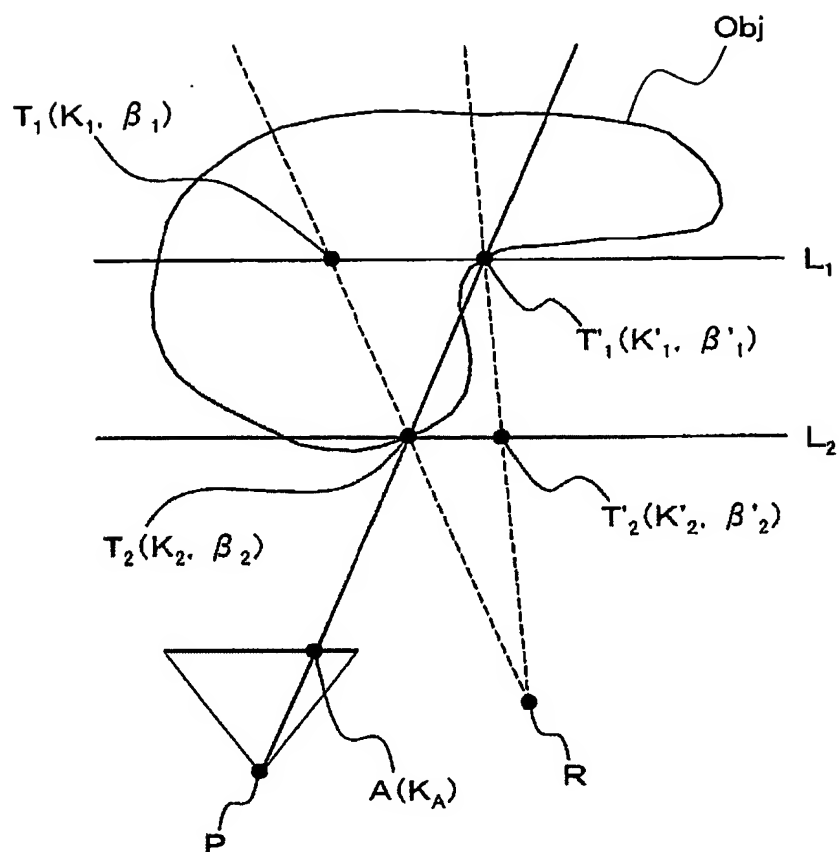
【図 7】

図 7



【図 8】

図 8



$$\beta_1 \equiv 0, \quad \beta_2 \equiv 1$$

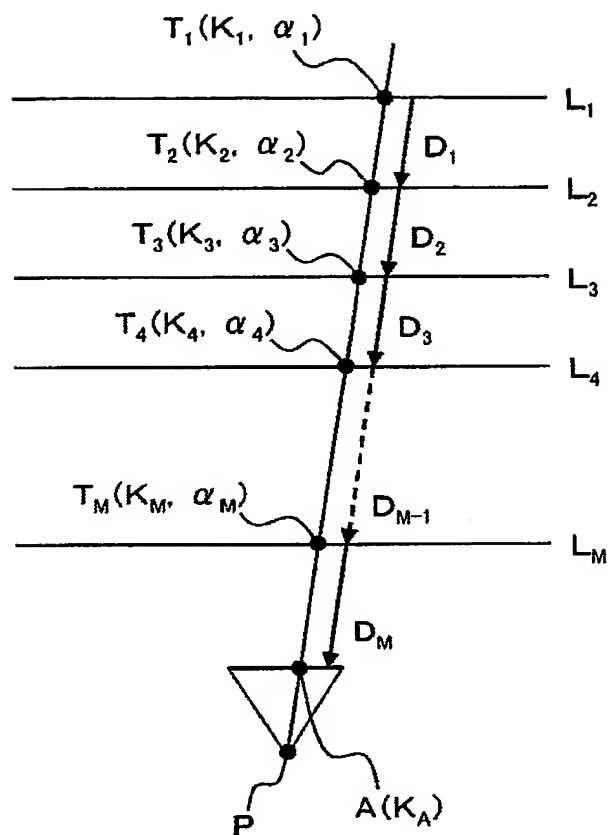
$$\beta'_1 \equiv 1, \quad \beta'_2 \equiv 0$$

$$K_A = \beta'_1 K'_1 + \beta_2 K_2 \doteq K'_1 + K_2$$

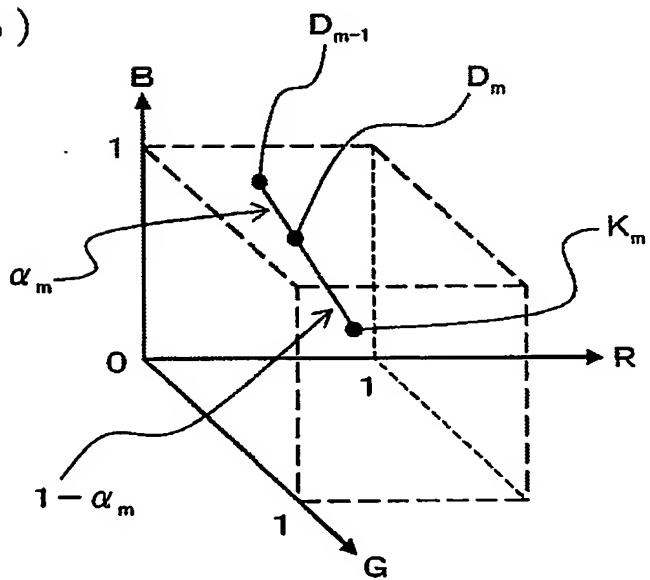
【図 9】

図 9

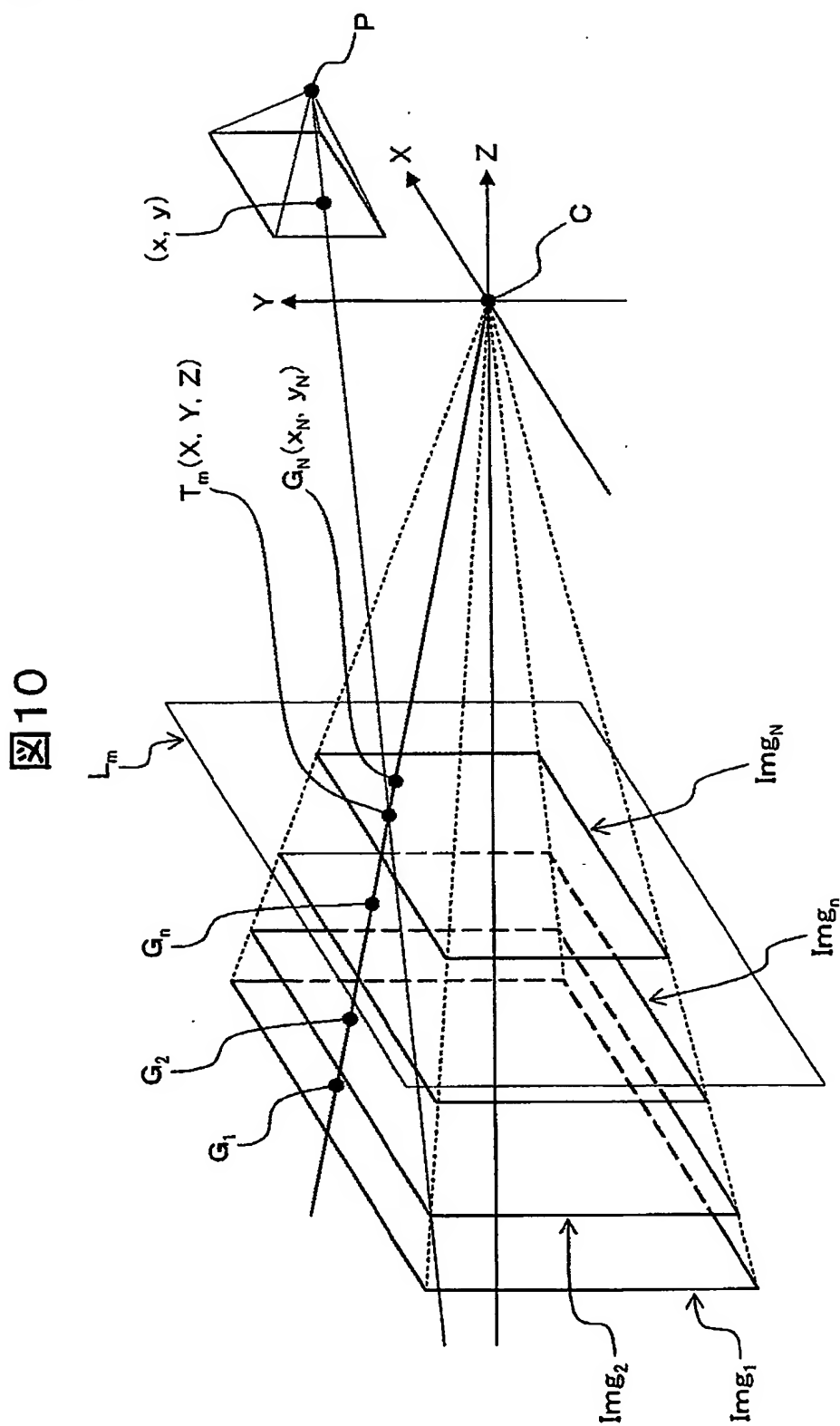
(a)



(b)

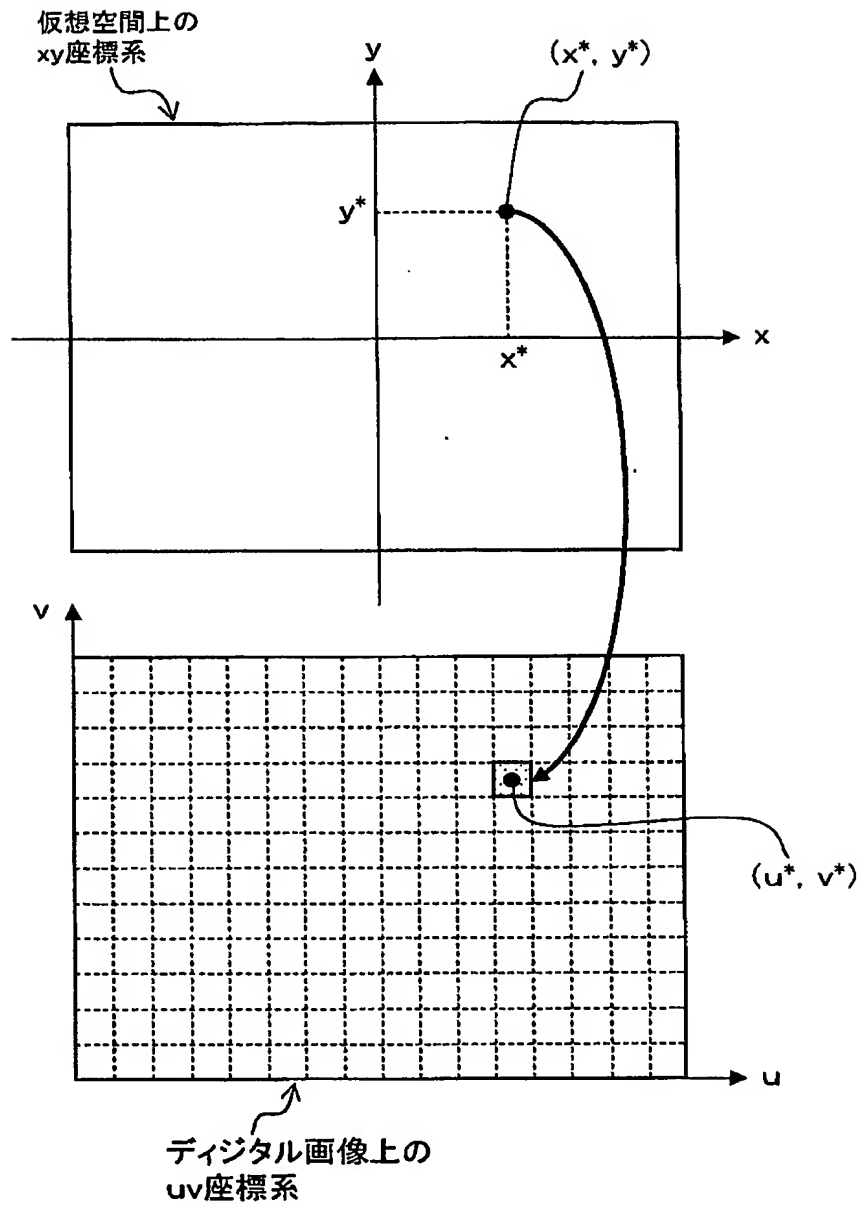


【図 1.0】



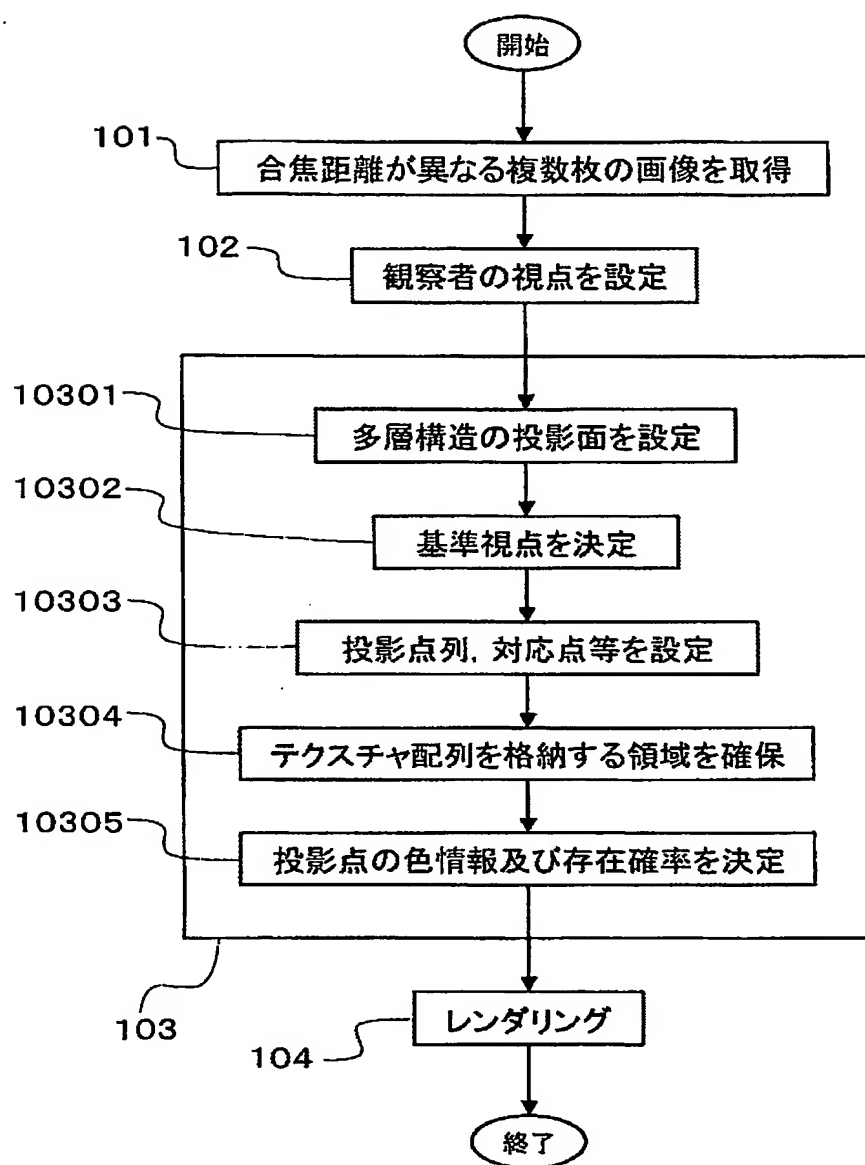
【図 11】

図 11



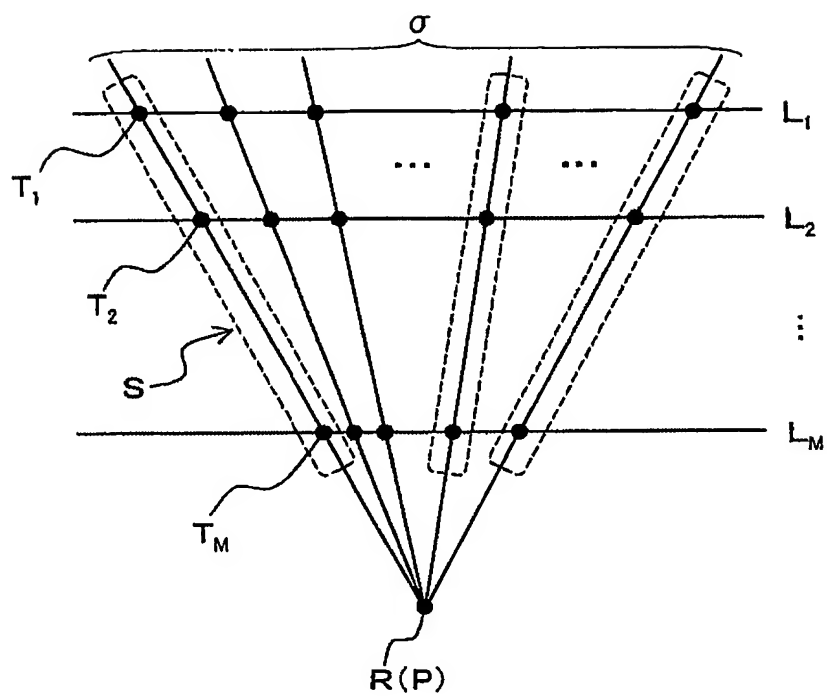
【図 12】

図 12



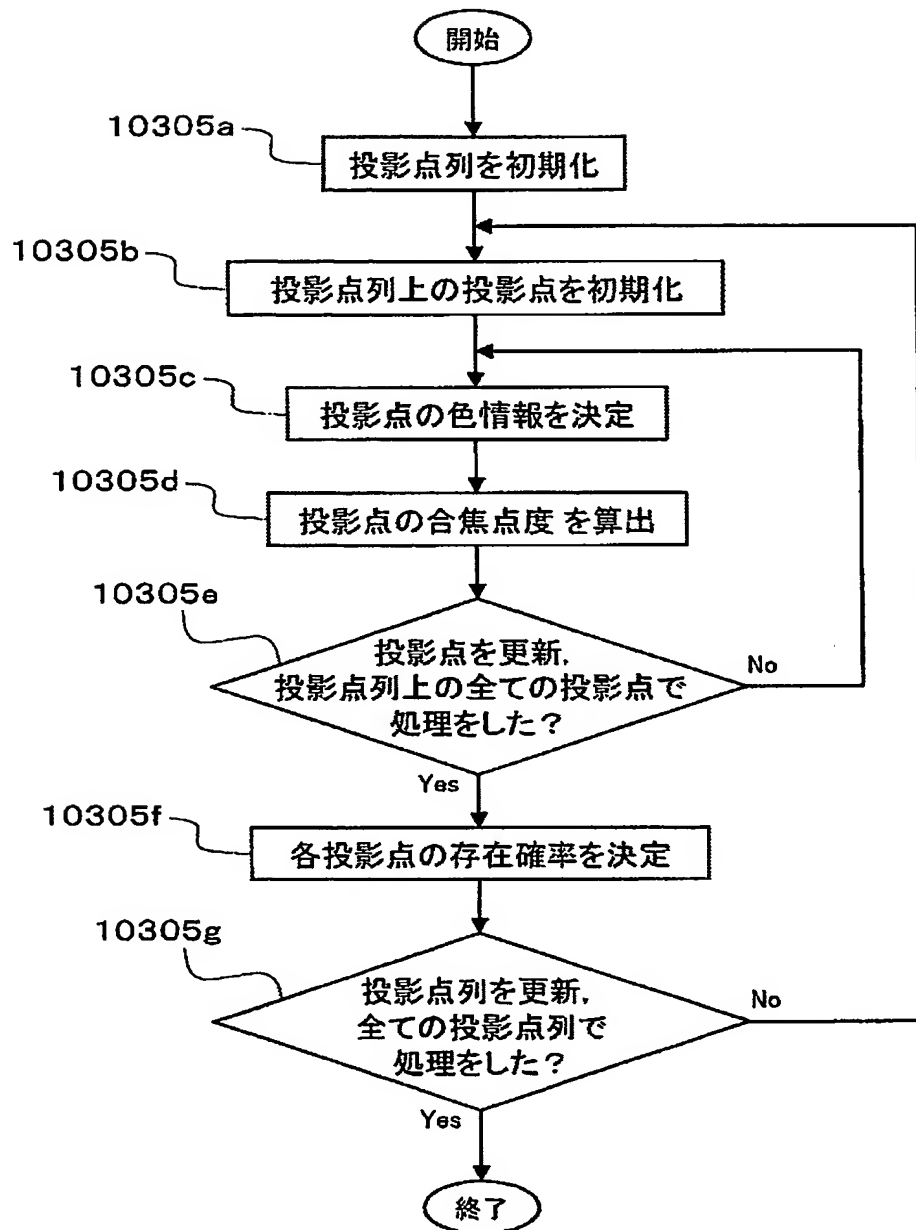
【図 13】

図13



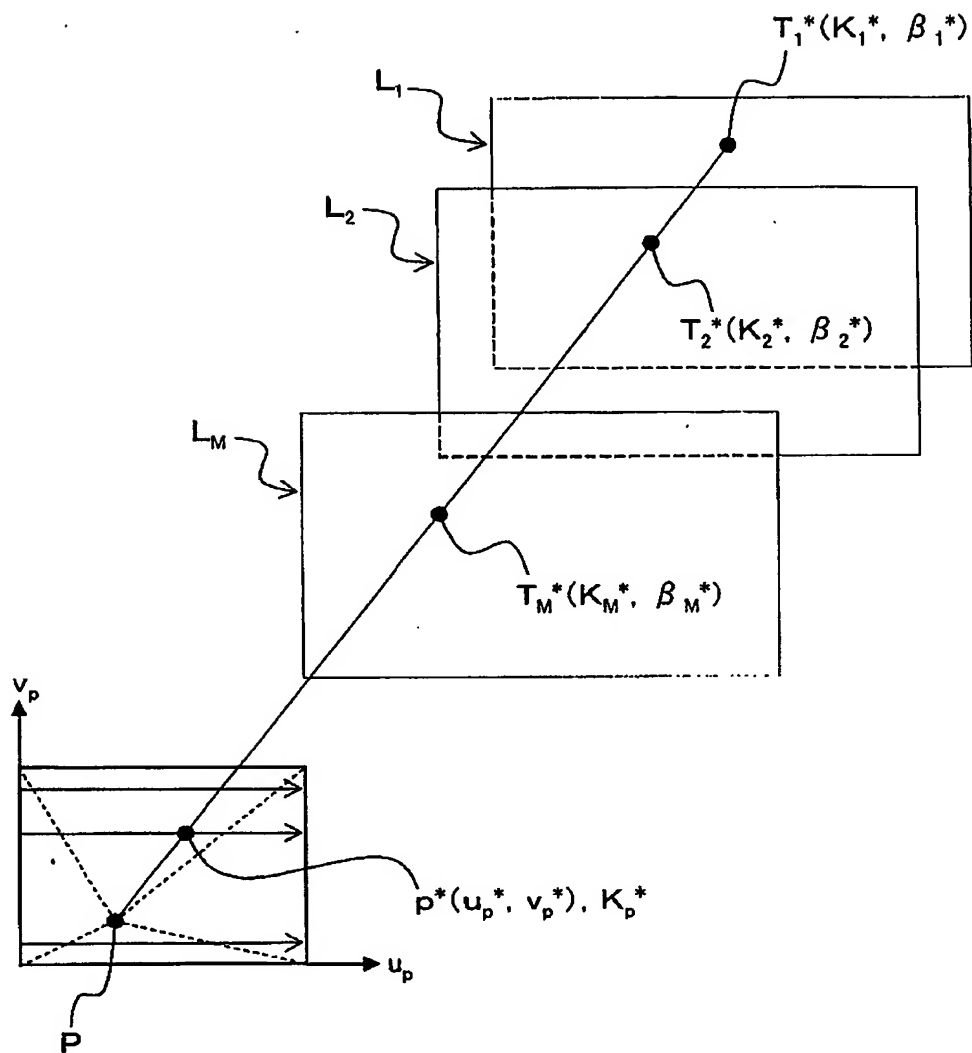
【図 14】

図 14



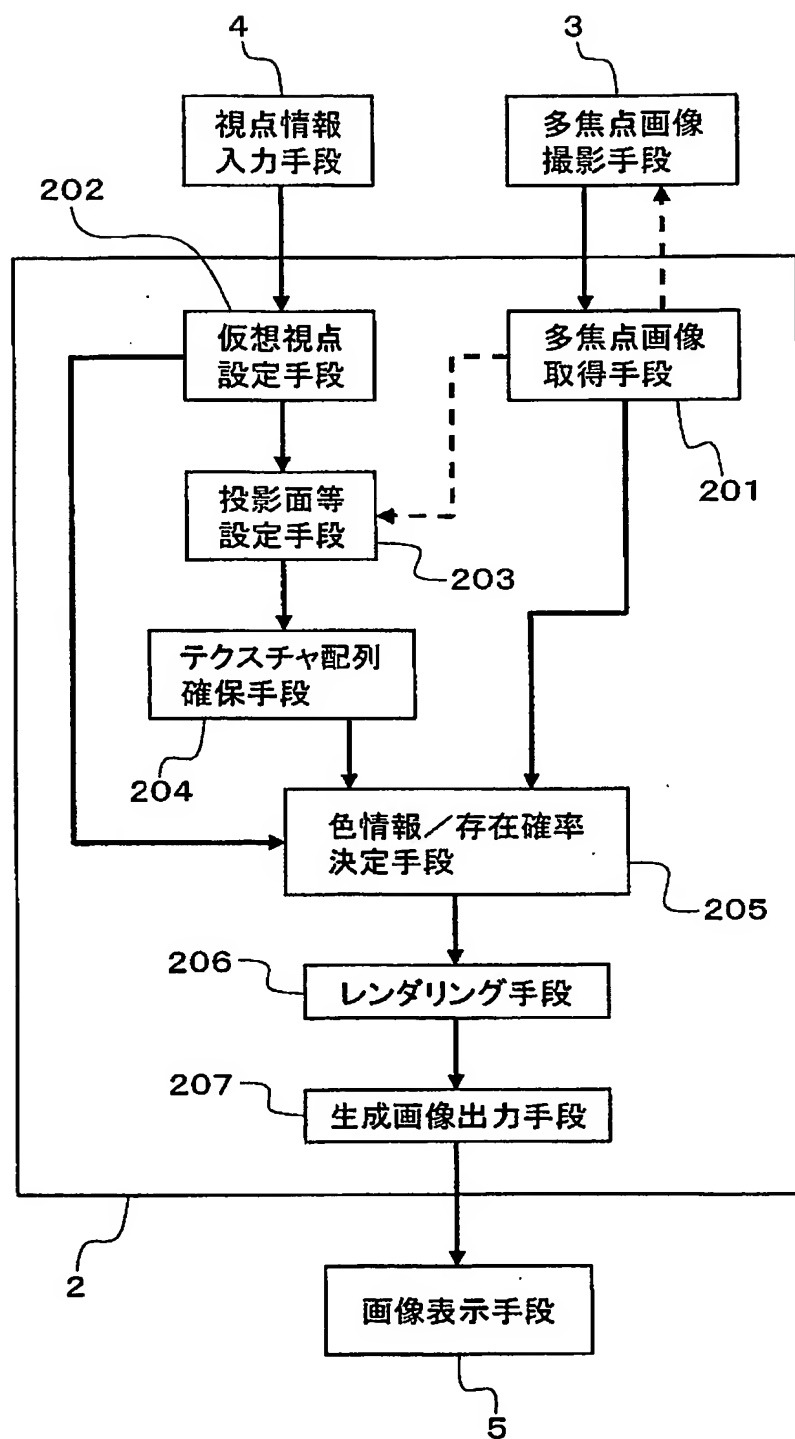
【図 15】

図 15



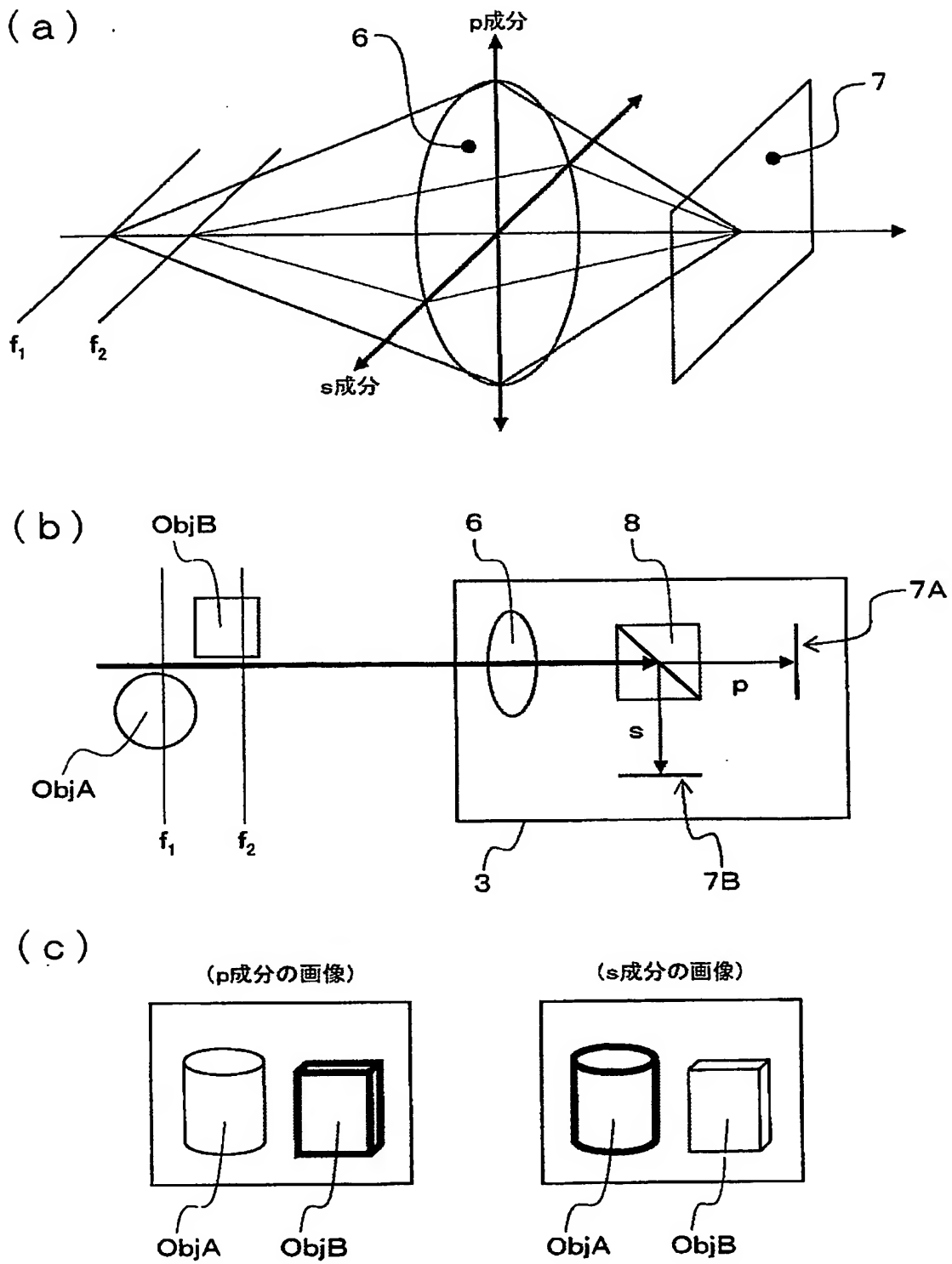
【図 16】

図 16



【図17】

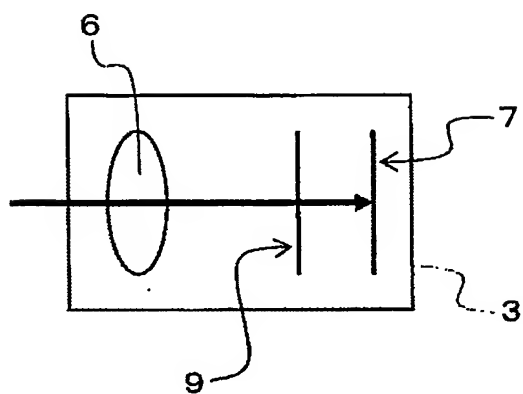
図17



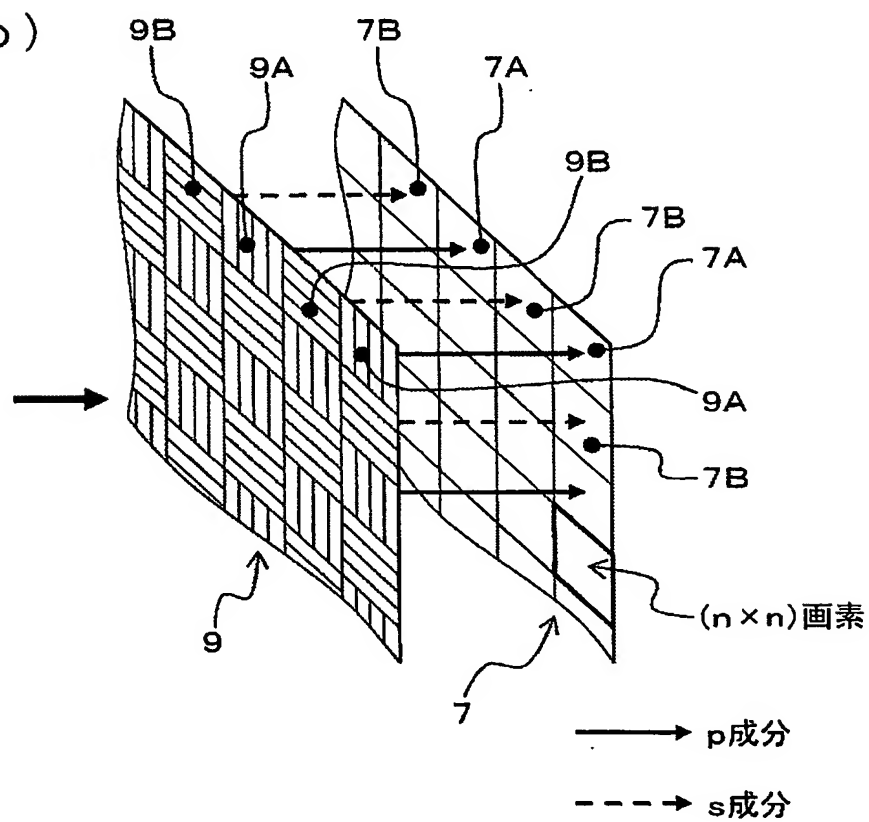
【図18】

図18

(a)

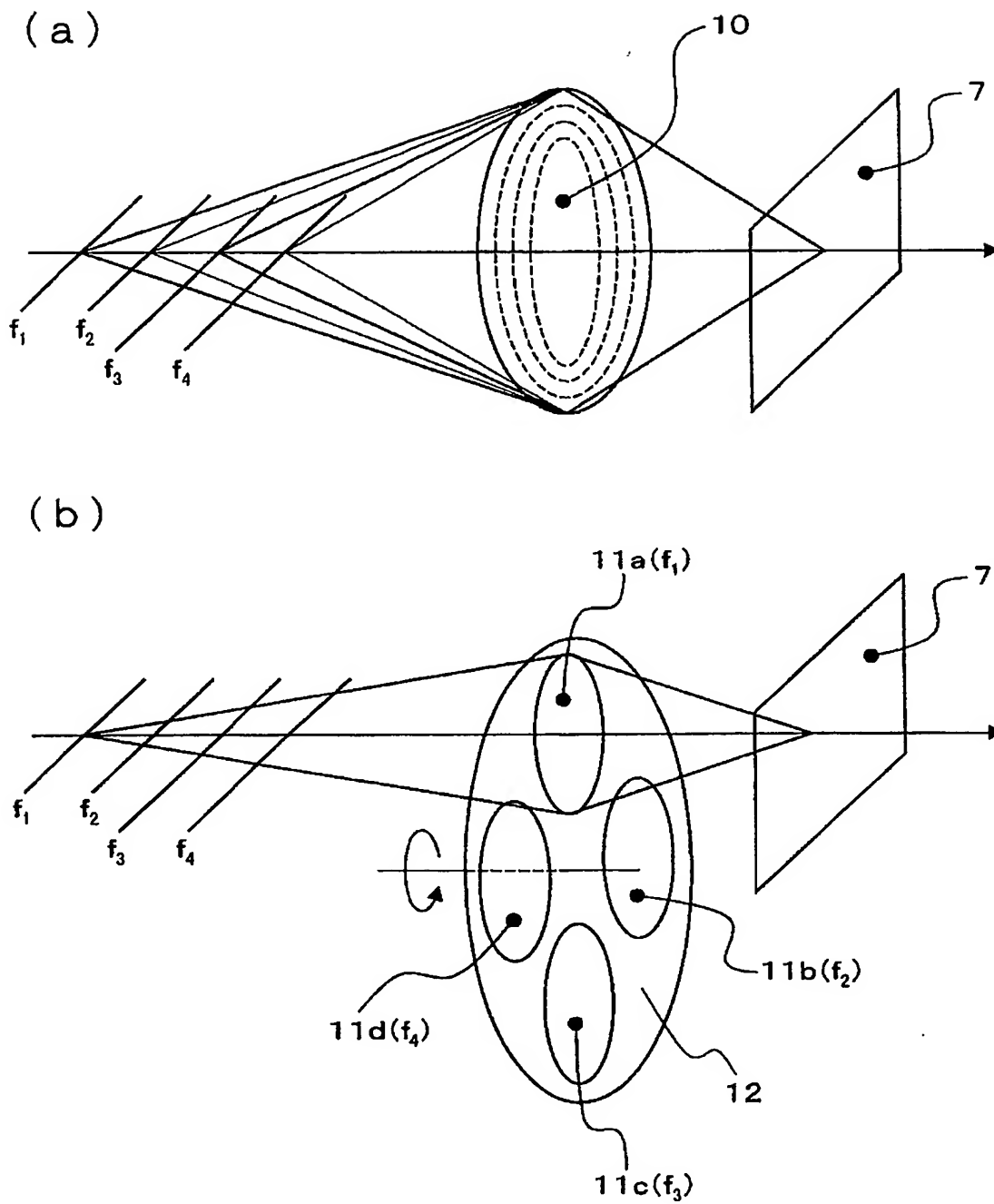


(b)



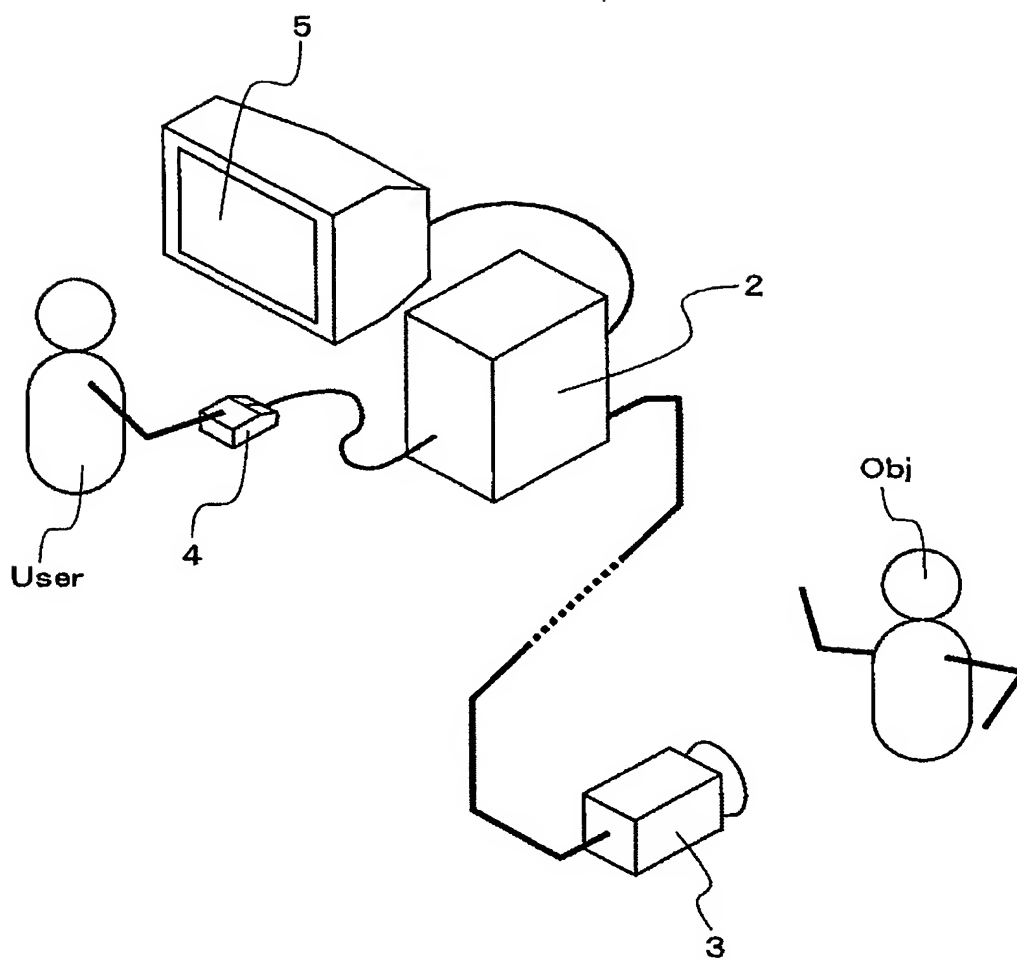
【図 19】

図 19



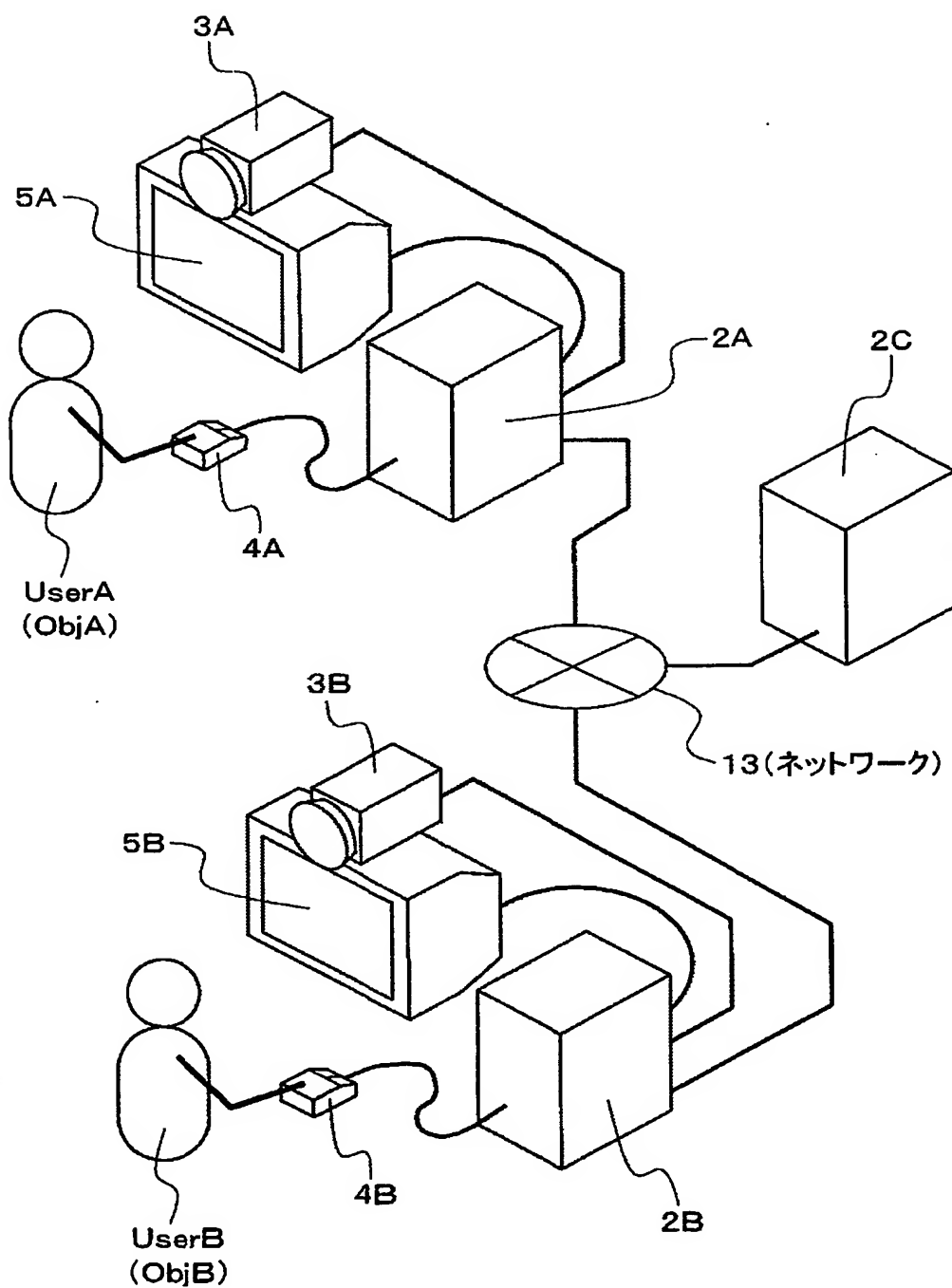
【図 20】

図20



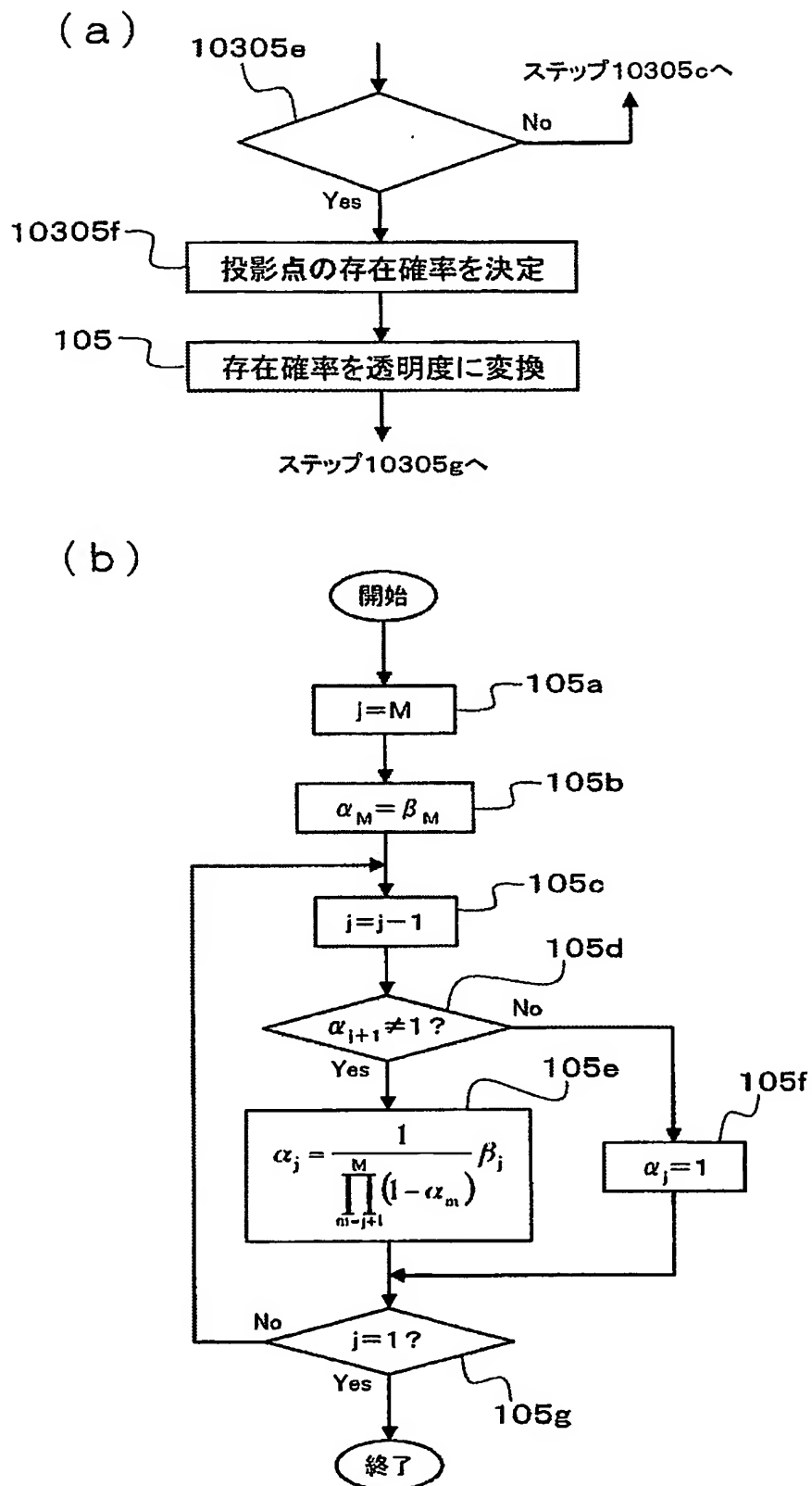
【図 21】

図21



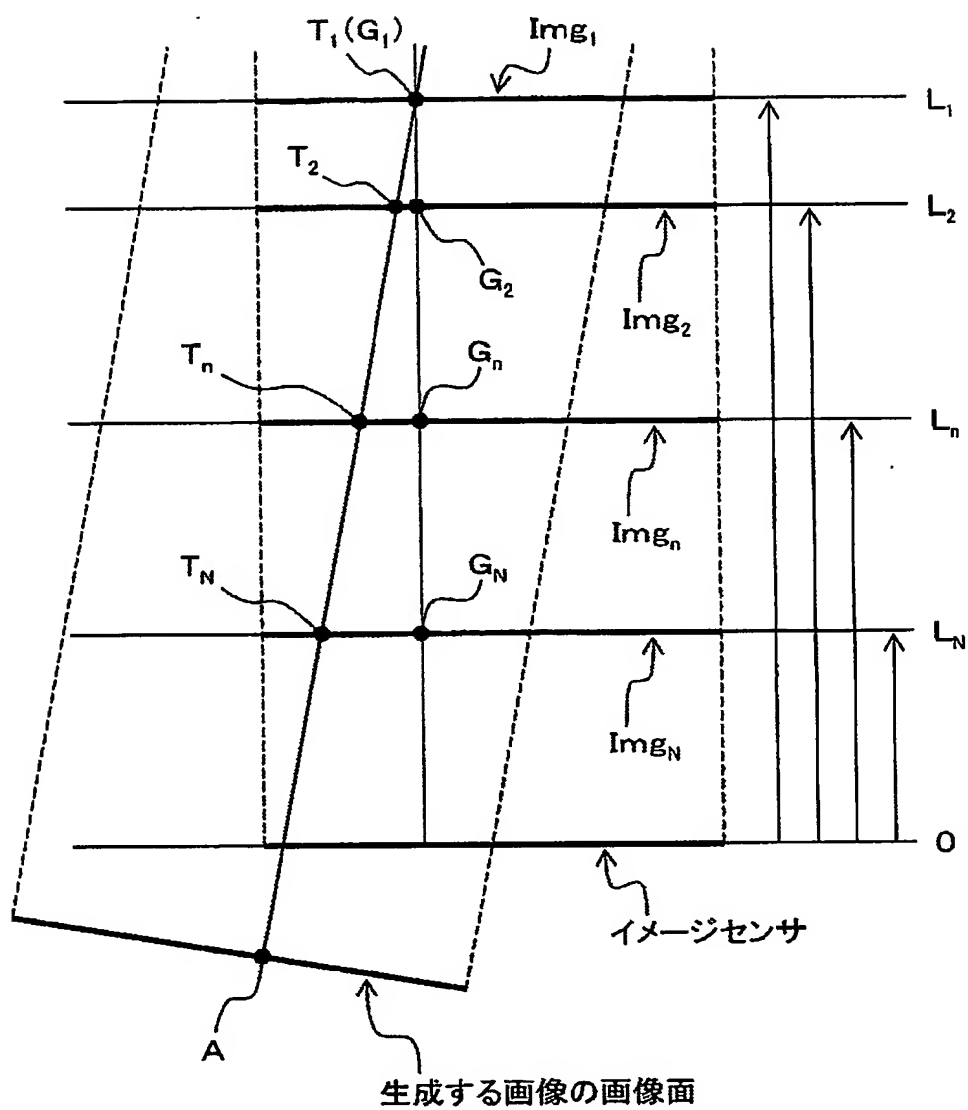
【図 22】

図22



【図 23】

図 23



## 【書類名】要約書

## 【要約】

【課題】 複数枚の画像から被写体の 3 次元的な形状を取得して仮想視点画像を生成するときに、被写体の形状の推定の信頼性が低い部分で生じる著しい画質の劣化を低減する。

【解決手段】 合焦距離を変えて被写体を撮影した複数枚の画像を取得するステップと、前記複数枚の画像に写っている被写体を見る視点（仮想視点）を設定するステップと、前記複数枚の画像から前記被写体の 3 次元形状を取得するステップと、前記取得した被写体の 3 次元形状に基づいて、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップとを有する画像生成方法であって、前記被写体の 3 次元形状を取得するステップは、仮想的な 3 次元空間上に多層構造の投影面を設定するステップと、前記被写体の 3 次元形状を取得するための基準視点を決定するステップと、前記投影面上の点（投影点）と対応する前記取得した各画像上の点（対応点）の色情報から、前記投影点の色情報を決定するステップと、前記投影点と対応する対応点の合焦点度を算出し、前記投影点の合焦点度を決定するステップと、前記基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の合焦点度に基づいて、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体の表面が存在する確率（存在確率）を決定するステップとを有し、前記仮想視点から見た前記被写体の画像を生成するステップは、前記仮想視点から見て重なり合う投影点の色情報を前記存在確率に応じた割合で混合して、生成する画像上の各点の色情報を決定する画像生成方法である。

## 【選択図】

図 2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2004-016832
受付番号	50400120949
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成16年 1月27日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成16年 1月26日

特願 2004-016832

出願人履歴情報

識別番号

[000004226]

1. 変更年月日

1999年 7月15日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名

日本電信電話株式会社